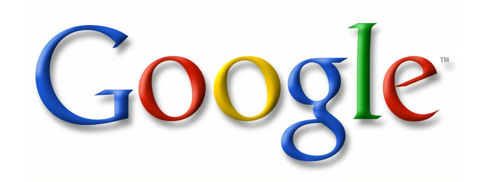
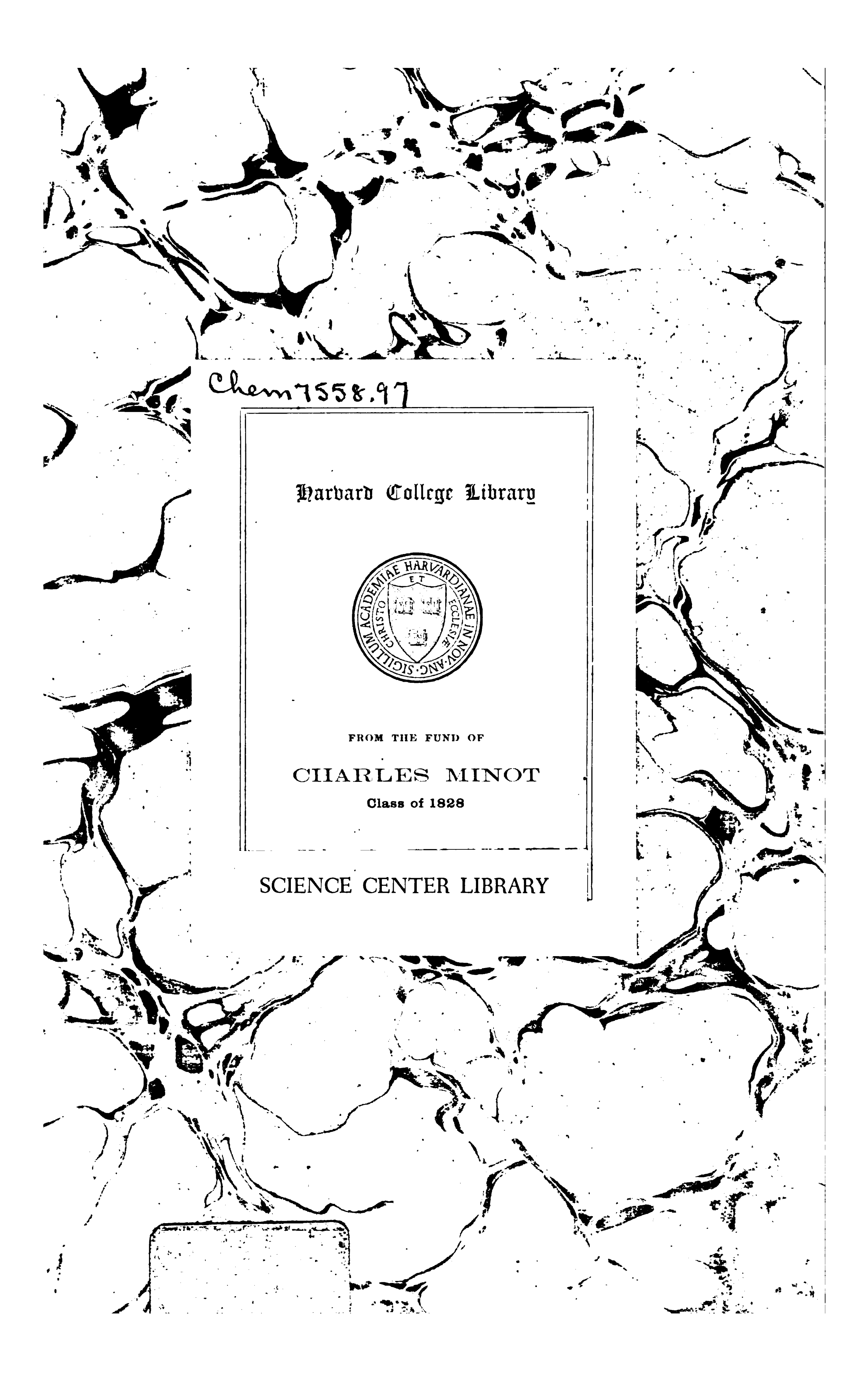






Chem 7558.97
Harvard College Library
HARVARDIANAE IN NOV·ANG· SIGILLUM ACADEMIAE
CHRISTO ET ECCLESIAE
FROM THE FUND OF
CHARLES MINOT
Class of 1828
SCIENCE CENTER LIBRARY


ALPHONSE
PICARD & FILS
EDITEURS
RUE BONAPARTE
-82-
PARIS VI ARROND.T
LIBRAIRIE
ANCIENNE
D'OCCASION
COMMISSION
LIVRES

LE VERRE

ET

LE CRISTAL

Nous avons marqué les figures de différents signes qui permettent de désigner les noms des éditeurs et des ouvrages auxquels ont été empruntés un certain nombre de figures et de planches intercalées dans cet ouvrage.

(*a*) JOUVET. — Merveilles de l'industrie de L. Figuier (verrerie).
(*b*) MASSON. — Le verre (Péligot).
(*c*) Vᵉ MOREL et Cᵉ. — Ouvrages de MM. J. Labarte et Deville.
(*d*) QUANTIN. — Mosaïque de Gerspach.
(*f*) LABOULAYE. — Guide du verrier de M. G. Bontemps.
(*g*) LACROIX. — Douze leçons sur la verrerie de M. Eug. Péligot, Chauffage par le gaz, par M. Lencauchez.
(*h*) FRÉDÉRIC VIEWEG et fils. — Glasfabrication Brunswick. Benrath, 1875.
(*i*) BAUDRY. — Musée de l'industrie de Belgique.
(*j*) C. LÉVY. — Grandes usines par Turgan.
(*k*) ENGELHARDT' SCHE BUCHHANDLUNG. — Freiberg, 1876. Compendium der Gasfeuerung von Ferd. Steinmann.
(*l*) W. FROEHNER. — La verrerie antique (collection Charvet).

PARIS. — IMP. E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

M. J. HENRIVAUX
Directeur de la manufacture des glaces de Saint-Gobain, etc.

LE VERRE

ET

LE CRISTAL

SUIVI D'UN CHAPITRE SUR

LA LÉGISLATION ET L'HYGIÈNE DES VERRERIES

PAR

M. A. RICHE
Membre de l'Académie de médecine.

NOUVELLE ÉDITION, REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE

TEXTE

PARIS
P. VICQ-DUNOD ET Cie, ÉDITEURS
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1897

INTRODUCTION

Sollicité par mon vénéré maître E. FRÉMY, d'écrire pour son *Encyclopédie chimique* un chapitre sur la Verrerie, je trouvai le sujet assez intéressant, le champ assez vaste pour fournir à cette importante publication le tome V (fascicule 5), de cet ouvrage.

Le caractère spécial de l'*Encyclopédie* me fit restreindre le côté historique de ce travail. Cette restriction fût le seul reproche que m'adressèrent les nombreux critiques qui rendirent compte de ce volume.

Tirée à deux mille exemplaires, cette première édition, parue en 1883 est complètement épuisée. Sollicité de divers côtés, et par mon Éditeur en particulier, de refaire une édition qui soit au niveau des progrès accomplis depuis treize ans, j'ai dû m'exécuter et ai essayé de combler dans cette nouvelle édition la lacune qui existait dans l'édition primitive.

Deux mille exemplaires d'un ouvrage spécial enlevés en douze ans, voilà la preuve du désir qu'ont les gens du métier de s'initier à la théorie de leur art; le public intelligent a aussi le désir de connaître, de s'expliquer les façons de faire, le détail des opérations dont les produits de plus en plus répandus lui sont soumis et lui sont devenus indispensables.

Depuis 1883 diverses conférences ont été faites sur la verrerie ou sur diverses parties de la verrerie, entre autres par MM. Léon Appert, à la Société des Arts décoratifs, à la Société d'Encouragement, à la Société des Ingénieurs civils. Aussi par M. E. Sartiaux,

à la Société des Ingénieurs civils, sur les applications du verre en électricité.

A Marseille, par M. G. Girieud; à Lyon, en 1894, par M. H. Bonnel, etc.

Des publications spéciales, des ouvrages même ont été publiés par MM. Léon Appert et Henrivaux, par MM. Gerspach, Olivier Merson, E. Garnier, H. Havard, et E. Damour; des comptes rendus aux diverses expositions ont tenu le public au courant des progrès accomplis en verrerie.

Des journaux spéciaux qui paraissent en France et à l'étranger, publient les progrès incessants accomplis en verrerie, et M. le docteur Schott, d'Iéna, a fait et a publié des études remarquables sur les verres d'optique. M. Mantois a fait faire à l'industrie de l'optique un progrès considérable en fabriquant entre autres produits 116 sortes de verres spéciaux dont les densités varient entre 2.433 et 5.004, ce qui permet à l'industrie et à la science d'employer des verres de fabrication française qui sont supérieurs à ceux obtenus jusqu'ici à l'étranger.

Malgré ces publications, malgré les ouvrages, les journaux qui relatent ces faits, les progrès à accomplir sont encore très nombreux; la théorie est bien incomplète : elle est souvent prise en défaut d'insuffisance et les progrès entrevus restent bien importants. Espérons qu'il nous sera donné d'être compté parmi ceux qui auront le bonheur d'apporter leur contingent à l'amélioration, au progrès d'une industrie aussi importante, aussi attachante pour ceux qui s'y consacrent.

Nous avons augmenté cette nouvelle édition d'un travail sur l'hygiène spéciale des verriers, sur la réglementation de ce travail. Dire que nous avons demandé à M. A. Riche de se charger de cette partie de notre œuvre, c'est en indiquer l'importance; c'est aussi appeler l'attention et faire profiter notre ouvrage des éloges que récoltera ce chapitre dû à un savant dont l'autorité fait loi.

LE VERRE

Par M. J. HENRIVAUX

Directeur de la Manufacture des glaces de Saint-Gobain,
Membre de différentes Sociétés savantes et industrielles.

LIVRE PREMIER

CHAPITRE PREMIER

ORIGINES DU VERRE ET DE LA VERRERIE.

Peu de questions ont été plus discutées que celle de l'origine du verre.

La fabrication du verre remonte à la plus haute antiquité. La philologie et l'archéologie l'attestent par des témoignages irrécusables.

Le hasard a dû naturellement être le premier facteur de cette fabrication. Si l'on ne peut lui assigner une date précise, il est permis de supposer du moins qu'elle est contemporaine de la fabrication des briques cuites au feu. On sait, en effet, que l'assemblage de divers matériaux soumis à l'action d'un feu intense peut présenter les premiers symptômes de la vitrification sous forme d'une sorte de vernis ou de glaçure qui apparaît à la surface.

Les premiers briquetiers ont été probablement les premiers verriers, des verriers sans le savoir, naturellement. Quel qu'ait pu être d'ailleurs le délai mis par le temps entre la découverte toute fortuite de ce produit nouveau et sa fabrication plus ou moins raisonnée avec des produits spéciaux, le verre n'a pas, semble-t-il, d'autre origine.

Cette version nous paraît moins risquée, en tout cas, que le récit de Pline qui attribue la découverte du verre aux marchands de nitre campés près du fleuve Bélus et trouvant sous leur marmite des morceaux de verre grossier produits par la fusion du sable et du sel de nitre mis fortuitement en contact. Il n'y a là, croyons-nous, qu'une simple légende faisant allusion aux verreries phéniciennes autrefois installées dans ce pays.

Le vernis obtenu à la surface des briques est beaucoup plus conforme à la réalité des faits. La trace la plus ancienne de cette substance vitreuse remarquée sur la terre cuite a été trouvée dans la pyramide à six degrés de Memphis, le plus ancien monument de l'Égypte, attribué à la Ire dynastie,

soit aux premiers âges du monde civilisé, plus de quatre mille ans avant notre ère. Les jambages de la porte donnant accès à la chambre sépulcrale étaient ornés de petits cubes de terre émaillée verte alternant avec des cubes de même dimension en pierre calcaire. Ces précieux joyaux de l'industrie humaine à son enfance se trouvent au musée de Berlin. Des grains de collier en terre émaillée, de date plus récente, ont été trouvés dans les tombes appartenant à la IVe dynastie. On voit de suite la parenté étroite qui existe entre l'émaillage et la vitrification. Les grains de colliers en verre de couleur, opaque, ont succédé aux grains de terre émaillée.

Pendant de longs siècles, la production du verre s'est limitée aux objets de toilette : grains de collier, pendants d'oreilles, etc., en pâte dure, opaque et

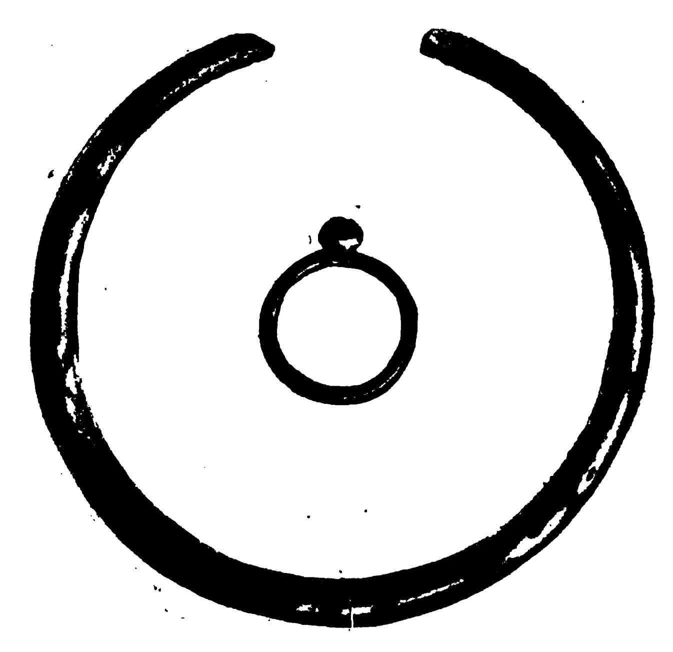


Fig. 1.

de colorations diverses. Pourtant, la langue primitive des Indous, le sanscrit, nomme le verre *Katcha*, l'objet brillant, transparent.

Les Phéniciens fournissaient aux Éthiopiens de la côte occidentale de l'Afrique, sous le nom de pierres d'Égypte, des perles de verre ou pierres vitreuses de formes diverses, analogues aux nombreux spécimens trouvés dans les Pyramides.

Il existait en Babylonie comme en Égypte tout un ensemble de connaissances industrielles relatives à la fabrication des verres et des métaux. Les musées possèdent à ce sujet des témoignages authentiques (1).

Un traité technique sur les verres et les pierres précieuses artificielles, *la*

(1) Nous engageons vivement le lecteur à se reporter au très remarquable ouvrage *les Origines de l'Alchimie* que M. Berthelot a publié en 1885. — Paris, G. Steinheil.

Techmurgie de l'Arabe Salmanas (huitième siècle). Ce curieux ouvrage donne notamment des procédés pour la fabrication des perles artificielles et le blanchiment des perles naturelles. On y trouve aussi des recettes pour la coloration des verres, émeraudes, escarboucles, vieilles formules où l'on cite le livre de Sophé l'Égyptien (ouvrage de Zozime) et la chimie de Moïse.

« Le chesbet (saphyr), dit M. Berthelot, et le mafek (émeraude) sont les deux substances qui accompagnent l'or et l'argent dans les inscriptions égyptiennes. » Ces termes ne désignent pas des métaux au sens précis du mot, mais aussi bien des minéraux colorés, naturels ou artificiels. Le chesbet se dit de tout minéral bleu et le mafek de tout minéral de teinte verte.

Les annales de Thoutmosis III distinguent le vrai chesbet et le chesbet artificiel. L'analyse des verres bleus qui constituent ce dernier ont établi que la plupart étaient colorés par un sel de cuivre. Quelques-uns le sont par du cobalt, comme l'indique l'*Histoire de la Chimie* de Hoefer et comme le montre l'analyse des perles égyptiennes faite par M. Clemmer et celle que nous avons faite nous-mêmes. Ce résultat est conforme aux faits reconnus par Davy pour les verres grecs et romains. Théophraste semble même parler explicitement du bleu de cobalt sous le nom de bleu mâle opposé au bleu femelle. Théophraste distingue également le *cyanos autophyès*, ou bleu naturel, venu de Scythie (lapis luzuli) et le *cyanos scenastos*, ou imitation, fabriquée depuis l'époque d'un ancien roi d'Égypte, et obtenue en colorant une masse de verre avec un minerai de cuivre pris en petite quantité. Le bleu imité devait pouvoir résister au feu, tandis que le bleu non chauffé (apyros), c'est-à-dire le sulfate de cuivre naturel, ou plutôt l'azurite, n'était pas durable. Vitruve donne encore le procédé de fabrication du bleu d'Alexandrie, au moyen du sable, du natron et de la limaille de cuivre, mis en pâte, puis vitrifiés au feu, recette qui se trouve dans les alchimistes grecs, ainsi que le démontre Olympiadore.

Le côté intéressant du procédé est la coloration d'une masse vitreuse obtenue par l'assimilation d'un métal.

Le *mafek* ou minéral vert désigne l'émeraude, le jaspe vert, l'émoil vert, le verre de couleur verte. Il est figuré dans les tombeaux de Thèbes en monceaux précieux mis en tas avec l'or, l'argent, le chesbet, par exemple dans le trésor de Ramsès III.

De même que pour le chesbet, il y a un mafek vrai qui est l'émeraude ou la malachite et un mafek artificiel qui représente les émaux et les verres colorés. La couleur verte des tombeaux et des sarcophages est formée par la poussière vitrifiée à base de cuivre.

Le vert de cuivre, malachite ou fausse émeraude naturelle, était appelée en grec *chrysocolle*, c'est-à-dire soudure d'or; en raison de son application à cet usage (après réduction et production d'un alliage renfermant un peu d'or et un cinquième d'argent, d'après Pline). C'était la base des couleurs vertes chez les anciens. Elle se trouvait, toujours suivant Pline, dans les mines de cuivre. On la fabriquait artificiellement en faisant couler de l'eau dans les puits de mine jusqu'aux mois de juin et juillet. La théorie chimique actuelle explique aisément cette préparation, laquelle repose sur l'oxydation lente des sulfures métalliques.

Le nom d'émeraude était appliqué par les Grecs dans un sens aussi compréhensif que celui de mafek à toute substance verte. Il comprend non seulement le vrai béryl, qui se trouve souvent dans la nature en grandes masses sans éclat; mais aussi le granit vert employé en obélisques et en sarcophages sous la vingt-sixième dynastie; peut-être aussi le jaspe vert. Ces minéraux ont pu servir à tailler les grandes émeraudes de quarante coudées de long qui se trouvaient dans le temple d'Ammon. C'est au contraire à une substance vitrifiée que se rapportent les célèbres plats d'émeraudes regardés comme d'un prix infini dont il est question au moment de la chute de l'empire romain et au moyen-âge. Ainsi dans le trésor des rois Goths en Espagne, les Arabes trouvèrent une table d'émeraude entourée de trois rangs de perles et soutenue par 360 pieds d'or. Nous avons cité également le grand plat d'émeraude, le *Sacro Catino*, pris par les croisés à Césarée en palestine, et 1101, et appartenant actuellement au musée de Gênes. Nous avons dit que ce vase était simplement en verre coloré.

La valeur attribuée à de tels objets s'explique si l'on observe que la fabrication du verre coloré en vert, opération difficile et coûteuse, paraît avoir été abandonnée sous les Grecs et les Romains. Pline ne parle pas de ce genre de vitrification qui était certainement en usage dans l'ancienne Égypte, d'après l'examen microscopique des couleurs employées sur les monuments.

Cependant, dans les recettes des manuscrits alchimiques, on trouve un petit traité sur la fabrication des verres où il est question, à côté du verre bleu, du verre *venetum*, c'est-à-dire vert pâle.

On ne sait pas d'une manière précise en quels endroits on préparait en Égypte les pierres précieuses et les vitrifications assimilées aux métaux. On suppose seulement, d'après divers indices, que ces industries étaient exercées dans le voisinage des sanctuaires de Ptah et de Serapis, La seule trouvaille qui désigne l'emplacement d'un vieux laboratoire est due à M. Maspéro.

La découverte a été faite à Drongah, à une demi-heure au sud-sud-ouest de Siont, au pied de la montagne, dans un cimetière musulman établi au pied de l'un des quartiers de l'ancienne nécropole.

Chez les anciens grecs, les Hellènes, les perles de verre tenaient le rang des pierres précieuses.

Plus près de nous les Gaulois, avant de fabriquer eux-mêmes le verre, à l'exemple des Romains, connaissaient les bijoux en verre coloré. On a trouvé dans la Lozère, sous des dolmens, des grains de collier en pâte bleue, d'origine égyptienne.

Des découvertes de ce genre ont été faites, surtout dans des sépultures de l'âge du bronze, dans diverses parties de l'Europe, notamment en Belgique, en Angleterre, en Allemagne, en Hongrie, au Danemark.

Après les objets de verroterie, les Égyptiens fabriquèrent des vases de verre coloré. On en trouve de toutes les formes reproduits dans les bas-reliefs de tombeaux datant de 3.000 avant notre ère. Le soufflage était donc en usage à cette époque.

Les peintures des hypogées de Beni-Hassan (province de Minyeh), de même époque, reproduisent diverses phases du travail dans une verrerie égyptienne.

Des verriers sont représentés assis, la *canne* aux lèvres, soufflant des morceaux de pâte verdâtre devant des brasiers allumés. D'autres marquent diverses attitudes. L'un souffle un vase; un autre présente, au moyen de deux baguettes, un manchon cylindrique à la flamme. Il ne peut y avoir à ce sujet aucune équivoque, les attitudes, l'existence des foyers, la forme des outils des objets en fabrication démontrent avec évidence qu'il s'agit de verriers.

On rencontre les mêmes sujets traités de façon plus primitive, il est vrai, aux premiers âges du monde connu.

L'Égypte semble avoir été le berceau de la fabrication du verre, et cela s'explique par l'antériorité de sa civilisation. Après elle, l'Assyrie l'aurait connue à son tour; l'exploration des ruines de Khorsabad a confirmé cette version. Il y a du reste une grande analogie entre les produits des deux pays, leurs relations ayant été des plus étroites. Des grains de collier, des anneaux en verre opaque et de forme spéciale ont été trouvés dans les demeures royales



Fig. 2.

assyriennes. Mais là s'arrête la verrerie de ce pays; elle n'a pas abordé la fabrication des vases.

On a bien cité à l'encontre de cette dernière assertion, le flacon célèbre conservé au Musée britannique, le vase du roi Sargon, provenant des fouilles de Ninive. On sait qu'il porte le nom de *Saryoukin* (le Sargon de l'Écriture), roi d'Assyrie de 721 à 704 avant notre ère. Ce vase affecte la forme des flacons à onguent dont il existe de nombreux spécimens en albâtre, et il est très facile de reconnaître qu'il n'est pas un produit du soufflage; il a été taillé dans un bloc de verre et creusé par le forage, fabriqué en un mot de la même façon que les vases d'albâtre dont il a la forme; la matière seule diffère. C'est à n'en pas douter, un objet d'importation offert par les Phéniciens au roi Sargon, leur vainqueur.

Les Phéniciens ont en effet puissamment contribué par l'étendue de leurs relations commerciales au développement de l'industrie verrière. Devenus verriers à leur tour, le principal centre de leur fabrication était la ville de Sidon, à laquelle Pline décerne le titre d'*artifex vitri*. D'après le même auteur, on attribuait aux habiles ouvriers de cette ville l'invention des miroirs de verre. Lucien voulant dépeindre la beauté de la femme, dit que son corps brille avec plus d'éclat que l'électre ou que le verre de Sidon.

Mais là n'est pas le principal mérite des Phéniciens. Avant eux, les peuples

qui ont connu le verre n'employaient comme fondant que la potasse, c'est-à-dire un alcali végétal obtenu au moyen de la combustion de certaines plantes.

Les Phéniciens remplacèrent ces soudes imparfaites par l'alcali minéral, le fondant par excellence sans lequel il est impossible de fabriquer du verre transparent : le sel de nitre. D'après Tacite, ils employaient aussi du sable très pur tiré des bords du fleuve Belus, appelé par les Hébreux, *la Rivière blanche*, sans doute par allusion à ce sable blanc qui tapissait son lit. Ils auraient eu également des sablières aux environs de Saint-Jean-d'Acre. « Entre Ptolémaïs et Tyr, dit le géographe Strabon, la plage est couverte d'un sable nitreux, mais qui ne peut se fondre sur place. On prétend qu'il n'entre en fusion qu'après avoir été transporté à Sidon. » On voit que les Phéniciens avaient eu l'adresse de se réserver l'usage de ces sablières en laissant croire que leurs produits ne pouvaient s'utiliser qu'à Sidon.

On a trouvé dans les nécropoles de l'île de Chypre, des vases de pâte blanchâtre ou verdâtre à parois épaisses et d'une faible transparence qui, suivant toutes probabilités, sont de fabrication phénicienne. La panse de ces verres est tellement épaisse que le vide à l'intérieur n'est guère que la prolongation du goulot. Un de ces vases, un alabastron, est conservé au musée de Londres.

Athénée dit qu'on fabriquait à Sidon des coupes côtelées, probablement de celles dont nous venons de parler.

Les verreries de Tyr, bien qu'Hérodote et, après lui, Théophraste en aient parlé avec éloges, ne semblent pas avoir eu la même renommée que celles de Sidon. Tout près, dans les environs du village actuel de Saur, on a trouvé des traces d'anciens fourneaux et des débris de verre coloré, dénotant l'existence en cet endroit d'anciennes verreries.

Les coupes en verre translucide fabriquées à Sidon et à Tyr, étaient recherchées et atteignaient des prix énormes. Dans le *Talmud*, le législateur juge « contraire aux bonnes mœurs que les riches se servent pour boire de verres blancs, tandis que les pauvres doivent se contenter de verres de couleur. »

Il est difficile d'assigner une date d'origine à la fabrication de ces verres translucides. A en juger par les objets en pâte colorée et opaque trouvés dans les nécropoles, elle ne doit pas remonter plus loin que quelques siècles avant notre ère, et il faut admettre qu'elle aura été découverte en essayant d'imiter le cristal de roche, à l'exemple des pâtes colorées qui étaient une imitation des pierres précieuses. Les vases, les statues et les cylindres supposés en émeraude par les anciens, — telle la colonne d'émeraude qu'Hérodote rapporte avoir vue dans le temple d'Hercule, à Tyr, et qui « brillait la nuit », — étaient tout simplement des ojets fabriqués en verre translucide de coloration verte. On les faisait « briller » en y introduisant une lumière.

Les Romains, qui s'appropriaient avec tant de succès les arts étrangers, empruntèrent à l'Orient les procédés de fabrication du verre, mais aucune de leurs verreries n'atteignit la renommée d'Alexandrie ou de Sidon. On n'est même pas fixé aujourd'hui sur les lieux exacts où se pratiquait cette industrie en Italie. On suppose que c'était à Cumes et à Rome. Pline nous dit seulement que le sable de la Campanie était aussi renommé que celui de Bélus.

« Aujourd'hui, ajoute-t-il, à l'embouchure du fleuve Vulturne, en Italie, sur la côte, dans un espace de six mille pas, entre Cumes et Linternum, on recueille un sable blanc très tendre; on le broie au mortier et à la meule; ensuite on y met trois parties de nitre, soit au poids soit à la mesure; le mélange étant en fusion, on le fait passer dans d'autres fourneaux; là, il se prend en une masse à laquelle on donne le nom d'*ammonitre;* cette masse est mise en fusion, et elle donne du verre pur et des pains de verre blanc. »

Le sable de Rome, d'après Strabon, était également renommé pour ses qualités vitrifiables.

Pendant longtemps, les Romains firent venir d'Alexandrie leurs verres à boire en pâte translucide; et ils y regardaient à deux fois avant de les briser, selon l'usage, à la suite de chaque toast, à cause de leur prix élevé.

La valeur de ces objets diminua naturellement lorsqu'on eut réussi à les fabriquer dans le pays. « A Rome, dit Strabon, il s'invente chaque jour, paraît-il, de nouvelles compositions, de nouveaux procédés pour colorer le verre et pour simplifier la fabrication, et l'on est parvenu ainsi à obtenir une imitation de cristal tellement bon marché, qu'un verre à boire avec sa soucoupe ne coûte pas plus d'un *chalque.* »

Pline de son côté, nous renseigne sur les procédés de fabrication alors en usage et démontre la préférence accordée au verre translucide : « Nulle substance n'est plus maniable, nulle ne se prête mieux aux couleurs, mais le plus estimé est le verre incolore parce qu'il ressemble le plus au cristal. Pour boire, il a même exclu les coupes d'argent et d'or; mais à moins que l'on n'y verse du liquide froid, il ne résiste pas à la chaleur. Tantôt on le souffle, tantôt on le façonne au tour, tantôt on le cisèle comme l'argent... »

Les fouilles pratiquées sur l'emplacement de Cumes, en Italie, ont amené la découverte d'un grand nombre de coupes en verre blanc fabriquées très probablement dans la cité même.

Au septième siècle de notre ère, la verrerie romaine était encore fort en vogue.

Sous les Romains, la fabrication du verre translucide s'est étendue aux plaques de verre employées en dallage et en vitrage. Les fouilles faites à Pompéi dès 1772 par Winckelmann, puis à Herculanum, à Baïes et à Rome ne laissent aucun doute à cet égard. On a trouvé à Pompéi des vitres qui mesuraient $0^{m},72$ de hauteur sur $0^{m},54$ de largeur (fig. 3 et 4). Passeri, au dix-septième siècle, put voir à Rome, dans les ruines d'une maison, un parquet de verre formé d'une masse compacte de la dimension même de l'appartement.

Ces découvertes appuient du reste cette tradition de divers auteurs latins que les anciens auraient connu les glaces. Sénèque ne dit-il pas (*Epist.* 86) : « Celui-là s'estime bien pauvre dont la chambre n'est pas tapissée de plaques de verre. » Il s'agissait sans doute de plaques de revêtement.

Et Vopiscus rapporte que le tyran Firmus « avait orné sa maison de glaces carrées qui étaient fixées au mur avec du bitume et d'autres mastics. »

D'après cela, il semblerait que les Romains connaissaient les plaques de verre et les employaient dans leurs constructions; seulement, ces plaques

s'obtenaient-elles par le soufflage, le coulage ou le moulage? A ce sujet les avis sont partagés.

Suivant Bontemps, les vitres de Pompéi, plus épaisses et moins transparentes que celles d'aujourd'hui, auraient été obtenues par moulage dans un cadre métallique, procédé employé actuellement pour la fabrication des dalles

VERRERIES ROMAINES

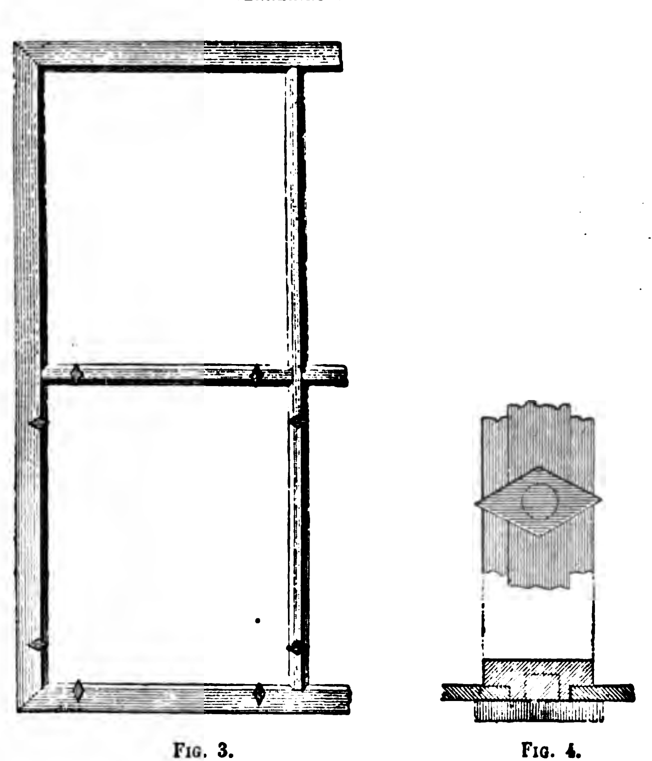


Fig. 3. Fig. 4.
Détails des châssis vitrés de Pompéi.

épaisses de dimension réduite. La forme et la disposition des bulles confirment du reste cette opinion. Elles ne présentent pas en effet la forme allongée à directions parallèles constatée dans le travail du soufflage en cylindres, ni la disposition en rayons qui est la caractéristique du soufflage en plateaux. De plus, ces plaques de verre sont plus épaisses sur les bords qu'au centre, ce qui se remarque généralement au moulage. Ces vitres sont en somme à l'état rudimentaire et indiquent une fabrication très peu avancée. Mais dans la verrerie artistique et décorative, les anciens ont été et sont restés nos maîtres. Les procédés techniques de leurs verriers n'ont certainement pas été dépassés par les nôtres. Ils paraissent avoir connu l'art de graver et de tailler le verre, de même qu'ils connaissaient la manière de le décorer au moyen de peintures en émail.

On prétend même, d'après un récit de Pétrone, qu'un verrier romain du temps de Tibère aurait trouvé le moyen de rendre le verre malléable même à froid. « ... Il y eut pourtant du temps de Tibère, dit cet auteur, un ouvrier qui fabriqua une fiole de verre, laquelle ne se cassait point. Il fut admis à en faire hommage à l'empereur, après quoi, l'ayant reprise de ses mains, il la lança sur le pavé. Le prince, effrayé, l'ouvrier ramassa sa fiole : elle était bossuée tout comme un vase d'airain. Cet homme alors tire un petit marteau de sa ceinture et tranquillement remet la fiole en état. Cela fait, il pensait déjà tenir Jupiter par les pieds, surtout quand l'empereur lui demanda : « Quelqu'autre que toi a-t-il le secret de cette composition? Pèse bien ta » réponse. » Sur la négative, César lui fit trancher la tête, car enfin si ce secret était connu, on ne ferait pas plus de cas de l'or que de la boue » (1).

Peut-être faut-il faire ici la part de la légende; mais qu'on ne se hâte pas trop de crier à l'invraisemblable, bien que la nature même du verre répugne à la malléabilité. On a trouvé le moyen de rendre le verre à peu près incassable. Ne peut-on admettre que ce verrier, ayant eu connaissance du procédé du trempage, les profanes de l'époque, exagérant cette découverte, ont pu croire qu'on avait trouvé le moyen de rendre le verre malléable à froid.

M. W. Frœhner et M. Ed. Garnier, auxquels nous avons fait de larges emprunts, estiment que les principaux centres de l'industrie verrière en Italie furent Pompéi et Cumes, ou leur voisinage très proche. Nous disons « estiment », car Pline, l'auteur tout indiqué pour préciser la question, si prolixe sur les procédés de fabrication employés de son temps et sur la variété, les mérites des divers produits de l'art verrier, est absolument muet sur l'emplacement des verreries romaines.

Du temps de l'empereur Hadrien, on tirait encore de l'étranger les vases de verre, dont l'usage commençait à s'étendre. Dans un de ses voyages en Égypte, cet empereur envoyait en cadeau au consul Servianus une collection de coupes en verre fabriquées à Alexandrie : « Je t'ai envoyé, lui disait-il, des verres chatoyants de diverses couleurs qui m'ont été offerts par le prêtre du temple. Ils sont particulièrement destinés à toi et à ma sœur. J'entends qu'aux jours de fêtes tu les serves aux convives. »

C'est également d'Alexandrie que provenaient les grandes coupes de verre qu'Hadrien lui-même, suivant Apulée, aimait à montrer sur ses tables de festins, mélangées aux coupes d'argent et d'or. Les vases de cristal du service impérial que Marc-Aurèle faisait vendre aux enchères publiques en plein Forum, avaient la même origine. Il s'agissait probablement là d'articles de luxe ayant un cachet exotique, car les Romains n'avaient pas tardé à égaler, sinon à surpasser, l'habileté professionnelle des verriers d'Alexandrie. Leurs ouvriers fabriquaient, au troisième siècle, des verres à boire d'une telle finesse, d'une telle légèreté qu'on les appelait verres *ailés* (2). Un artiste de ce temps en vendit deux 6.000 sesterces (1.500 francs de notre monnaie).

(1) Pline, qui rapporte la même anecdote, prétend que Tibère se contenta de faire raser l'atelier de l'inventeur.

(2) Peut-être aussi parce que, de même que les verres vénitiens fabriqués plus tard, ils étaient munis d'anses en forme d'ailettes.

D'après saint Jérôme, les premiers chrétiens ont connu les calices en verre. Quelques-uns portaient encore l'inscription païenne dont on décorait d'habitude les vases à boire de cette époque : BIBE. VIVAS. Bois. Vis.

On a conservé un gobelet en verre blanc ayant appartenu à l'empereur Maximilien, dont il porte le nom : *Maximianus Augustus;* ce gobelet est enveloppé d'un réseau à jour de verre bleu en filigranes, superposé au corps du verre avec une rare délicatesse.

L'empereur Gallien méprisait les coupes de verre. Alexandre Sévère les estimait beaucoup, au contraire, bien qu'il ne se servît que de gobelets ordinaires en verre blanc. Il exigeait seulement qu'ils fussent nets et brillants. Cependant Alexandre Sévère frappa les verriers d'un impôt fort lourd, sous forme de patente, qui fut rapporté plus tard, sous Constantin. Il faut voir dans cet acte, non pas un sentiment d'hostilité contre l'art de la verrerie, mais un indice du développement qu'avait pris le commerce de ses produits.

L'usage du verre était en effet très répandu à cette époque. On s'en servait dans les lieux publics, dans les cabarets et au barreau, où les avocats avaient l'habitude de boire de l'eau chaude ou tiède pendant leurs plaidoiries.

Dans les cabarets, les jeunes patriciens, au milieu de leurs orgies, s'amusaient à casser les verres à coups de pièces de monnaie lancées de loin. D'après Jules Capitolin, Verus avait acquis à ce jeu une grande réputation.

Clément d'Alexandrie, un siècle plus tard, demandait, dans l'intérêt de la morale publique, qu'on détruisît tous les verres à boire, qui avaient développé outre mesure le vice de l'ivrognerie.

Les anciens Gaulois connaissaient le verre, à en juger par les objets de verroterie égyptienne trouvés dans la Lozère et les sépultures explorées en Suisse et en Savoie, mais on croit qu'ils en ignorèrent la fabrication jusqu'à la domination romaine.

La verrerie gauloise ne semble pas, en effet, une création du génie local; elle est romaine par la forme de ses produits, leur décoration, leurs inscriptions. Elle ne nous a légué du reste rien de remarquable, et on a lieu de s'en étonner, étant donné que les Gaulois ont connu et pratiqué de très bonne heure l'art d'émailler les métaux (1). On a trouvé des ruines de verrerie gallo-romaine à Rouen, Amiens, Rennes, Bordeaux, Autun, Lyon, Nîmes et Strasbourg. Nos ancêtres en tous cas se sont servis d'instruments de chimie en verre. On a découvert des cornues anciennes à Arles, à Nîmes et dans les environs de Cologne. Les Gallo-Romains ont surtout excellé dans les travaux de mosaïque en verre qui donnèrent naissance à la fabrication des vitraux peints. Les auteurs du temps rapportent que lors de l'invasion franque, les farouches conquérants recherchaient les riches demeures contenant des parquets de verre diversement coloré et prenaient plaisir à les incendier de préférence pour avoir à constater les bizarres transformations, dues à l'action du feu, subies par les cubes de verre.

A part de rares objets d'art dont le vase de Strasbourg et celui de Barberini sont de remarquables spécimens, la verrerie gallo-romaine semble avoir

(1) D'après Philostrate.

recherché la fabrication de vases d'usage courant à bas prix. M. Frœhner, le savant archéologue, lui attribue les nombreux flacons à fond carré trouvés en grand nombre dans les tombeaux.

On rencontre également en grand nombre les vases d'usage domestique ou funéraire en pâte incolore, sans inscription ni décoration. Ces vases, de formes variées, étaient destinés à recevoir des huiles parfumées ou les cendres des morts. Ce sont de petites fioles, très allongées, terminées par un col cylindrique. On les appelle *lacrymatoires*, plutôt par allusion à la cérémonie où on en faisait usage qu'au liquide destiné à y être renfermé. La plupart de ces fioles sont dues au soufflage; quelques-unes offrent les traces évidentes du moulage sous forme de sutures dans le sens longitudinal. Les mêmes traces se remarquent sur les verres décorés d'ornements en relief appartenant à la même époque.

Au démembrement de l'empire romain, l'empereur Constantin ayant transporté à Byzance le siège de son gouvernement, y appela les plus célèbres verriers de l'Italie et de la Gaule, qu'il combla de faveurs et qui élevèrent la verrerie byzantine à un haut degré de perfection.

L'Occident, submergé par le flot des barbares, allait voir s'arrêter pendant plusieurs siècles l'essor industriel et artistique qu'il devait à la vieille société qui venait de disparaître.

Plus tard, les Vénitiens, qui seront pendant longtemps les seuls importateurs en Occident des précieuses verreries grecques, profiteront, après l'invasion de l'empire d'Orient par les Turcs, de l'émigration des artistes qui suivra la prise de Constantinople. Ces habiles commerçants hériteront à leur tour des procédés usités en Asie et à Byzance pour fabriquer le verre, le colorer, le dorer et l'émailler. Ils produiront alors cette multitude de beaux ouvrages qui portera si haut et si loin la juste renommée de leur verrerie. Murano dépassera Alexandrie.

Les verreries établies sur notre sol ne disparurent pourtant pas toutes après l'invasion des Francs, et les trouvailles faites dans les sépultures des sixième et septième siècle démontrent que la fabrication du verre ne fut pas complètement abandonnée. Mais pendant plusieurs siècles le cachet artistique semble avoir disparu pour faire place à la verrerie commune et à bas prix. Une lettre écrite par l'évêque Fortunat à la reine Radegonde, femme de Clotaire Ier, nous apprend qu'en ce temps-là les viandes étaient servies, dans les festins, sur des plats d'argent, et les légumes sur des plats de verre.

Pendant toute la période barbare et le moyen âge, les verriers sont établis loin des villes, à proximité des forêts, tant pour se procurer plus facilement les matériaux de fabrication que pour échapper le plus possible à la réglementation ordinaire et aux exactions du fisc. Des documents authentiques démontrent l'existence de vingt-cinq fabriques de verre en activité sur notre territoire, entre 1207 et 1497. La pièce la plus ancienne est un diplôme de l'an 825 qui mentionne le port de la verrerie dépendant de l'abbaye de Saint-Mesmin.

Dans son livre de l'*Essai sur divers arts*, le moine Théophile (1), qui écrivait

(1) Ce moine était contemporain de la grande querelle de saint Bernard et de Suger

au douzième siècle, dit dans sa préface adressée au lecteur : « Si tu approfondis attentivement cet *Essai*, tu y trouveras tout ce que connaît la Grèce sur les espèces et mélanges des diverses couleurs; toute la science de la Toscane relativement aux incrustations et à la variété des nielles; tout ce qui distingue l'Arabie, quant à la fonte et à la ciselure des métaux; l'art avec lequel l'Italie décore les différentes espèces de vases, soit au moyen de l'or et de l'argent, soit avec l'ivoire et les gommes; tout ce que la France apporte de recherches à varier d'une façon précieuse les vitraux des fenêtres et les colorations du verre » (caput XII, *De diversis vitri coloribus*).

Un passage des *Mémoires de Joinville* nous fait connaître le peu de valeur où étaient tombés les objets de verrerie. Le chroniqueur nous montre le comte d'Eu, frère de saint Louis, s'amusant à briser, à l'aide d'une petite catapulte de son invention, les aiguières et verres dont se servaient, pendant leur repas, les chevaliers au service du roi (tome II, page 335).

Les inventaires des maisons royales en 1360 et 1380 indiquent que partie de ces verres en usage en France venaient d'Orient : « Ung grant voirre, ouvré en la façon de Damas. Ung autre petit voirre, ouvré par déhors, à ymages, en la façon de Damas » (*Inventaire de Charles V*).

Aux produits orientaux s'ajoutent parfois les produits de Venise. Un mandement de Philippe le Hardi, daté du 6 juillet 1394, ordonne le paiement de quatre francs pour seize verres et une écuelle, « des voirres que les galées de Venise ont apportez en nostre pays des Flandres. »

On voyait figurer au nombre des joyaux du duc d'Anjou « deux potets (petits pots) à pied et à anse de verre de Venise, deux grandes coupes à pié de verre de Venise, etc. ».

Il résulte de ces diverses citations que la verrerie de luxe était d'origine étrangère.

La vaisselle de verre dont on faisait usage était fabriquée dans le pays. On doit à Legrand d'Aussy, auteur d'une *Histoire de la Vie privée des Français*, parue en 1782, la révélation d'une charte de 1338 par laquelle Humbert II, dauphin du Viennois, accorde à un verrier nommé Guionet, le privilège de l'exploitation d'une partie de la forêt de Chamborant, à condition qu'on lui fournît chaque année 240 verres à boire en forme de coupe ou de hanap, 144 amphores, 132 vases de nuit, 144 grandes écuelles, 72 plats, 72 plats sans bords, 144 pots, 144 aiguières, 60 gotteffles, 12 salières, 240 lampes, etc., etc.

Une redevance comprenant un si grand nombre d'objets suppose une fabrication considérable et le bas prix relatif des produits.

Le bon marché de la vaisselle de verre est du reste confirmé par des mémoires de Louis XI. Les marchands un peu riches dédaignaient d'en faire usage et avaient coutume de boire dans des hanaps et des coupes d'argent ou de vermeil. Les vases en verre étaient relégués à l'office et à la cuisine.

Un siècle plus tard, Bernard Palissy fait entendre cette plainte significative dans une lettre adressée à l'un de ses amis : « Je te prie, considère un peu les verres qui, pour avoir esté trop communs entre les hommes, sont devenus à un prix si vil que la plupart de ceux qui les font vivent plus méchaniquement

que ne font les crocheteurs de Paris... et ces verres sont vendus et criez par les villages par ceux mêmes qui crient les vieux chapeaux et les vieilles ferrailles. »

La verrerie d'art reparut en France au seizième siècle. Les gentilshommes verriers, imitant les procédés de fabrication de Murano, produisirent des verres de grand luxe peints, dorés et émaillés. Sans rechercher, comme leurs confrères vénitiens, les formes légères, presque diaphanes et compliquées à l'excès, ils surent révéler, dans des modèles coquets et gracieux, le caractère particulier du génie français, qui allie la simplicité à l'élégance.

De grands efforts avaient été faits pour enlever à Venise les secrets de sa fabrication.

La municipalité de Lyon accordait, en 1508, un subside important à Mathieu de Carpello pour l'aider à développer la manufacture de « voirres de cristallin » fondée par lui dans la ville.

En 1547, Henri II appelait en France le Vénitien Théséo Mutio et l'installait dans le château même de Saint-Germain pour qu'il pût y exercer son métier de verrier.

L'*Inventaire de Catherine de Médicis* porte treize pièces de verre, façon de Saint-Germain-en-Laye. Charles IX anoblit ce Théséo Mutio.

Henri IV, lui aussi, attira des verriers vénitiens en France et favorisa l'établissement de deux fabriques, l'une à Paris, près de l'église de Saint-Germain-des-Prés, et l'autre à Nevers. En janvier 1598, il concéda à deux Italiens, originaires d'Altare, Vincent Bussoni et Thomassin Bartholus, le privilège d'établir une verrerie à Rouen. Sept ans plus tard, un Français, cette fois, nommé François Garsonnet, construisait dans la même ville une verrerie fabriquant du cristal.

En 1690, la verrerie d'Orléans, dirigée par Perrot, contrefaisait l'agate et les gemmes, imitait avec du verre émaillé la porcelaine de Chine, et obtenait par le moulage des pièces de verre avec des bas-reliefs et divers ornements. Massolat, maître de verrerie à Reizaucourt, était renommé, à la même époque, pour son habileté à reproduire le cristal taillé de Bohême.

Le musée de Cluny possède de très jolis spécimens de la verrerie française du seizième siècle : une belle coupe *a* portant sur son pied les armes émaillées de Louis XII et d'Anne de Bretagne ; un verre *b* avec portraits de Pierre Talon et de sa femme ; un autre *c* qui, avec trois hallebardiers, porte cette devise : *En la sueur de ton visage tu mangeras le pain ;* ces trois vases sont très remarquables, chacun dans leur style particulier, et peuvent soutenir la comparaison avec les meilleurs produits de Venise. On peut voir au Louvre un verre émaillé à portrait *d* qui provient de la collection Davillier et dont l'exécution est également de premier ordre (1).

On cite encore un verre très curieux de fiançailles *e* représentant un gentilhomme en costume Henri II, offrant un bouquet à une dame, avec la devise : « Ie svis à vovs, Iehan Bovcan et Antoinette Bovc. » Cette pièce originale, d'un très joli travail, appartenait autrefois à M. d'Huyvetter, de Gand, et a été prêtée par M. Hade à l'Exposition de Manchester.

Bien qu'assez rares, les échantillons conservés de cette fabrication artis-

(1) Les figures *a*, *b*, *c*, *d*, *e* sont représentées dans la dernière planche de l'atlas.

tique témoignent bien des talents et de l'ingéniosité des verriers français, qui ont su créer un style original et de bon goût.

On aurait donc tort de croire, avec certains historiens, que la verrerie française au seizième et au dix-septième siècle n'avait aucune valeur et ne produisait que des œuvres médiocres.

La faible notoriété qu'on lui reproche et l'espèce d'effacement dont elle fut frappée sont dus à l'invention du coulage des glaces, dont s'émerveillèrent tous les esprits et qui remua si profondément le monde industriel de l'époque.

LES VASES DE VERRE.

Après avoir retracé d'une façon très sommaire les diverses étapes suivies depuis l'origine par la curieuse industrie du verre, nous allons maintenant passer une revue rapide des principaux produits que, depuis l'antiquité la plus reculée, elle a couramment mis au jour.

A peine sorti de la période des tâtonnements, l'art de la verrerie comprend manifestement deux branches bien distinctes. L'une, que nous appellerons industrielle, recherche avec ténacité le verre incolore, transparent, appliqué d'abord aux vases à boire et qui doit plus tard aboutir aux vitres, aux vitraux et aux glaces; l'autre continue la tradition orientale qui s'attache à l'imitation des pierres précieuses et à la fabrication de plus en plus luxueuse des vases en verre coloré.

Dans la première partie, on s'attachait surtout à éviter les bulles et les stries, en mettant un soin extrême à la préparation des pâtes vitreuses, et en perfectionnant les procédés de fusion. Dans la seconde, plus spécialement fidèle au côté artistique, on se préoccupait d'obtenir toutes les colorations possibles au moyen des oxydes métalliques et de varier à l'infini tous les genres de décoration. C'est de cette dernière que nous nous occupons particulièrement.

A l'origine, l'art verrier copie les vases d'albâtre ou de terre cuite. Le vase formé d'un bloc de verre est creusé à l'intérieur, taillé et poli à l'extérieur. Puis, peu à peu, à l'aide du soufflage ou du moulage, le flacon s'allonge, diminue d'épaisseur et augmente de capacité. Sa forme devient plus légère, harmonieuse; la panse s'arrondit ou se termine en pointe comme le corps d'une abeille. Il est orné d'oreillettes, puis les anses, plus gracieuses, remplacent les oreillettes; et enfin, viennent les ornements, les décorations imprimées dans la pâte.

L'artiste fait alors intervenir les couleurs parmi lesquelles dominent le blanc, le jaune, le vert et le bleu, tantôt employées seules, tantôt mariées dans la pâte. Ces vases affectent toutes les formes, revêtent toutes les colorations, deviennent des chefs-d'œuvre de finesse, de légèreté et de grâce. Leur décoration sous les formes les plus diverses, en cloisonnage, en émail, en impression, révèle un génie artistique incomparable.

L'antiquité nous a légué des spécimens de ces joyaux inestimables dont la perfection et la richesse n'ont pas été égalées depuis. Les riches collections

comprennent des vases en verre opaque isochromes, multicolores, craquelés, cloisonnés, irisés, et les verres dits *soudés* ou travaillés à jour que les latins nommaient, croit-on, *diatreta*.

Vases opaques multicolores. — Les anciens, d'après M. Frœnher qui fait autorité dans la matière, appelaient les verres opaques multicolores tantôt *verres grecs*, tantôt *verres phéniciens*. Mais ces attributions d'origine ne reposent sur aucune base sérieuse. Les verres opaques trouvés en Grèce et en Italie y ont été apportés par le commerce. Les îles de Chypre et de Rhodes, notamment la nécropole de Camirus, en ont fourni un bien plus grand nombre. Le raisonnement, appuyé sur de solides arguments et de savantes observations, les rattache à l'art égyptien.

La plupart des verres opaques sont décorés de dentelures et de cercles géométriques tantôt grêles, tantôt de la largeur d'un ruban, disposés en faisceaux. Sur quelques-uns se remarquent la feuille de fougère et les mailles d'un panier. Ce dernier dessin est particulier à l'Égypte, où la coutume ancienne était de placer les objets fragiles dans un panier affectant leur forme. Lorsqu'on compare les teintes des flacons opaques avec celles des objets émaillés fabriqués en Égypte, à Thèbes notamment, on reconnaît facilement leur parenté étroite de pâte et de couleurs.

L'art grec s'emparera plus tard du terrain; il substituera son génie propre à celui de l'art égyptien; il le complètera par la finesse des contours et l'harmonie des lignes, par la sobriété des ornements qui fera mieux ressortir le coloris du fond. Mais cette transformation ne s'opérera guère que vers le siècle d'Alexandre le Grand (1).

Il est évident que l'art grec procède de l'art égyptien. L'endroit où s'est produite la rencontre qui a amené l'épanouissement du premier est désigné par ce passage de Strabon, au 16e livre de sa géographie : « Les verriers d'Alexandrie m'ont assuré qu'il y avait en Égypte une terre propre à la fabrication des verres; que c'était avec cette matière seule qu'on faisait *les précieux vases polychromes* et que tous les autres sables y étaient impropres, vu que certaines substances leur manquaient. »

L'autorité est bien suffisante pour démontrer que les vases opaques multicolores sont d'origine alexandrine. La verrerie grecque peut ici céder le pas à l'art égyptien. Son règne arrive bientôt à son tour.

Vases imitant les pierres précieuses. — La potasse et la soude formant la base de beaucoup de pierres précieuses naturelles, il a été possible aux verriers de reproduire artificiellement ces pierres dès qu'ils se furent rendu compte de leur composition chimique. Cette reproduction a atteint pour certains objets un tel état de perfection qu'il faut parfois, aux joailliers et aux chimistes, des qualités de sérieuse observation expérimentale pour reconnaître la gemme naturelle de la pierre artificielle.

Du temps de Pline, on imitait déjà les pierres précieuses les plus recherchées : l'émeraude, l'opale, le saphir, l'hyacinthe, le jaspe, l'escarboucle, la turquoise, le rubis, la topaze, l'agate, etc...

(1) Voir les figures *f*, *g* représentées dans la dernière planche de l'atlas.

Alexandrie excellait notamment à reproduire très fidèlement la turquoise et le lapis-lazuli.

A côté des imitations presque parfaites des gemmes naturelles, il faut reconnaître que l'antiquité a produit un grand nombre de pâtes où la fantaisie du verrier s'est donnée libre carrière et qui n'existent pas dans la nature. S'il y a des amphores, des gobelets et des coupes qui sembleraient taillés dans un morceaux d'onyx ou d'émeraude, il en est d'autres où le bleu, le jaune et le vert sont amalgamés de manière à former une masse hybride dont la minéralogie n'offre aucun exemple. Un flacon de ce genre trouvé à Cumes est en forme de clochette; il offre une variété de colorations si diverses que l'œil en est d'abord surpris, mais l'impression finale est admirative, l'ensemble étant délicat et gracieux.

On rencontre à Rome quelques vases entiers et de nombreux fragments de



Fig. 5. — Vase imitant les pierres précieuses.



Fig. 6 — Vase imitant les pierres précieuses.

vases en verre coloré, mais très peu représentent exactement les pierres précieuses. Là, les verriers n'ont pas visé à la ressemblance. Généralement, une couleur ou un émail est appliqué intérieurement à la pâte constitutive du vase.

Les Romains reproduisaient pourtant exactement le marbre rouge par une belle pâte opaque de couleur pourpre nommée par Pline *hæmatinum*. On a, comme spécimens remarquables de ce beau travail, une tête de Jupiter Sérapis trouvée à Rome et une coupe provenant d'Algérie.

Il est donc établi que les verres de couleur, même les verres transparents, offrent généralement un point de ressemblance avec les pierres précieuses.

A cette époque, ces dernières venaient de l'Orient et celles de cette provenance sont restées les plus riches de jeu et de couleur. Une tasse en pâte bleue, qu'on a longtemps prise pour un véritable saphir, existe au trésor de Manza; elle est de la même facture que le *Sacro-Catino* de la cathédrale de Gênes, cette merveilleuse relique qui, sous le nom de Saint-Graal, joue un si grand rôle dans les légendes du moyen âge. Le Sacro-Catino, si l'on en croit la tradition, aurait servi à Jésus-Christ dans la célébration de sa dernière Pâque avec les apôtres. Les Gênois l'auraient retrouvé, en l'an 1102, dans la mosquée de Césarée de Palestine, lors de la première croisade. Pendant de longs siècles, on crut ce vase taillé dans un bloc d'émeraude. Transporté en France sous le premier Empire en 1806 et déposé au Cabinet des médailles, il fut examiné par un savant minéralogiste, Guyton de Morveau, qui reconnut que la matière dont il était formé était du verre. L'émeraude était du reste facilement imitée par les anciens. Néron regardait les luttes des arènes à travers une émeraude, c'est-à-dire un verre transparent de coloration verte semblable à celle de l'émeraude.

Du temps des Romains, l'imitation des pierres précieuses avait atteint une telle perfection qu'on avait communément recours, pour reconnaître les véritables gemmes, à la pierre de touche, à la vérification du poids, de la dureté, et de l'intensité des feux.

Les vases imitant les pierres précieuses sont de diverses origines. Très peu sont parvenus jusqu'à nous. La plupart paraissent venir de Syrie et de l'Italie méridionale. D'autre part, la grâce de leurs formes, l'harmonie de leurs couleurs semblent les rattacher à l'art grec. Malheureusement, rien dans leur style n'est assez nettement caractérisé pour leur assigner une origine certaine et une date précise. La question est assez embarrassante et n'est pas encore résolue.

Verres multicolores imitant le bois. — Il y a une distinction à établir entre les vases à miniatures, appelés aussi verres-mosaïques, et ceux imitant la texture du bois. Les premiers relèvent de la symétrie basée sur des règles déterminées; les seconds sont un produit de pure fantaisie qui, dans l'ordre chronologique, après s'être attachée à l'imitation en pâte isochrome des vases de terre ou d'albâtre, a pris ensuite pour modèles la texture, la teinte des fibres du bois. Alors apparaît la vaisselle en bois sculpté, chêne, buis ou noyer, comprenant généralement des vases en forme de coupe hémisphérique sans pied, rarement côtelés. Les tons de ces verres, qui présentent une grande variété de couleurs, combinent habilement les pâtes opaques et les pâtes translucides, sur tous, le dessin reproduit le tissu cellulaire des branches d'arbre et ressemble à la section d'une tige examinée à la loupe. Quelle que soit la couleur du fond, on y remarque presque toujours une gerbe de mouchetures tournées en spirale aux tons bigarrés et habilement heurtés. Le dessin est formé de rubans enroulés et de carrés isolés au milieu des spirales dans lesquelles ils sont enchâssés. Les bords ont eux-mêmes un décor spécial consistant généralement en liserés à raies parallèles, dont les couleurs alternent en un double fil entrelacé.



Fig. 7 et 8. — Vases multicolores imitant le bois.

La caractéristique du genre est la copie plus ou moins fidèle des tissus ligneux; il existe cependant des modèles formant exception à la règle et où s'observe, sur un fond qui les relie à la famille, un semis de fleurs ou d'étoiles. Là, l'artiste ne s'est plus borné à copier la nature; il s'est abandonné aux caprices de son imagination pour enjoliver le sujet ou obéir aux résistances de la matière qu'il emploie.

« Le procédé de fabrication, dit Frœhner, suppose une connaissance de plus en plus achevée de la matière vitreuse. On prend un certain nombre de baguettes colorées, coupées en tronçons; l'ouvrier les réunit en faisceaux et, après les avoir chauffées, il les dispose dans un moule de terre cuite afin de les agglutiner au moyen d'une *paraison* de verre opaque ou de verre transparent. La masse ainsi préparée se prête à toutes les formes, et il est probable qu'après le soufflage de la coupe, les anciens l'auront polie à froid pour en aviver les diaprures et lui donner son dernier lustre. »

La plupart de ces vases proviennent des tombes étrusques trouvées en Italie. Les musées de Florence et du Vatican en possèdent d'incomparables spécimens qui viennent en partie de Toscanella, une ancienne fabrique qui aurait existé aux portes de Rome pour ainsi dire.

On ne croit pas ces vases assez anciens pour les rattacher à l'art étrusque proprement dit; et cependant, par certains côtés, ils n'y sont pas étrangers.

Verres à miniatures. — Les premiers verres à miniatures ont été fabriqués en Égypte. Ici, il n'y a pas de doute. Les miniatures sont de deux espèces : les lames carrées et les médaillons. Les échantillons retrouvés et conservés jusqu'à nous sont très rares; mais à en juger d'après eux, ils sont les produits d'un art à peu près disparu et qui avait atteint la plus haute perfection. Le sujet choisi est souvent un sujet de la mythologie ou de la flore égyptiennes : l'épervier sacré, symbole du soleil levant, un masque, des fleurs, une rosace; parfois des dessins géométriques, une sorte de dispositif en mosaïque. L'exécution est toujours d'une finesse, d'une délicatesse des plus remarquables. La coloration est d'une éblouissante richesse de tons. L'ensemble en fait des modèles de grâce inimitable.

Les figures 18 et 19 sont la reproduction d'une pièce appartenant à M. le Dr Fouquet. Cette pièce, dont la teinte est celle du sulfate de cuivre, a la forme d'un losange, elle est taillée à la meule et porte les cartouches de Aménophis III et de Rii, ce qui lui assigne comme date la dix-huitième dynastie.

Les plaques à miniatures ont dû servir au placage des murs dans l'intérieur des somptueuses demeures royales, et sur les meubles de luxe, les lits, les sièges, les coffrets, où ils étaient incrustés, comme les pierres précieuses sur les joyaux, comme les perles dans un diadème. Nous sommes édifiés à ce sujet par les objets retrouvés dans les fouilles faites en Égypte par M. de Morgan, dont les découvertes ont fait l'admiration des archéologues et de tout le monde savant, en affirmant le savoir et la ténacité de cet habile ingénieur.

On fabriquait ces objets de deux façons. Dans la première, on incrustait sur



Fig. 9. — Panache en or, enrichi de pierres précieuses.

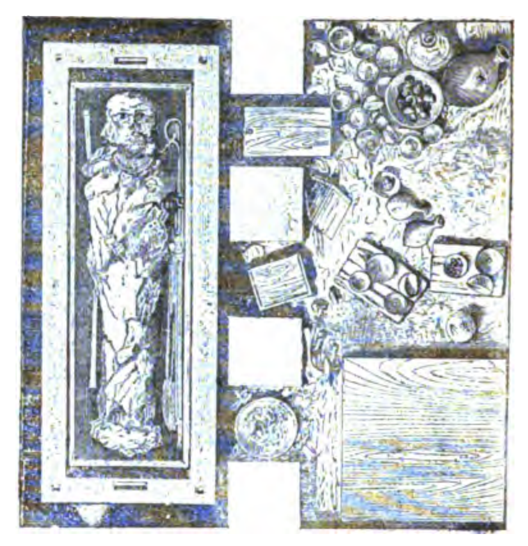


Fig. 10. — Vue en plan, d'une momie et des offrandes.

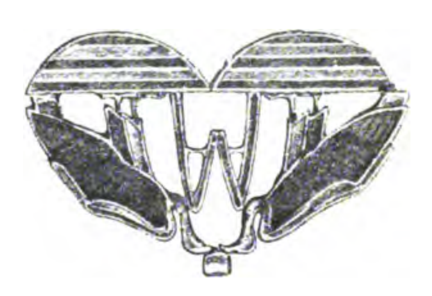


Fig. 11. — Pendeloque. vautour en or ciselé.



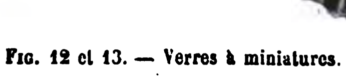


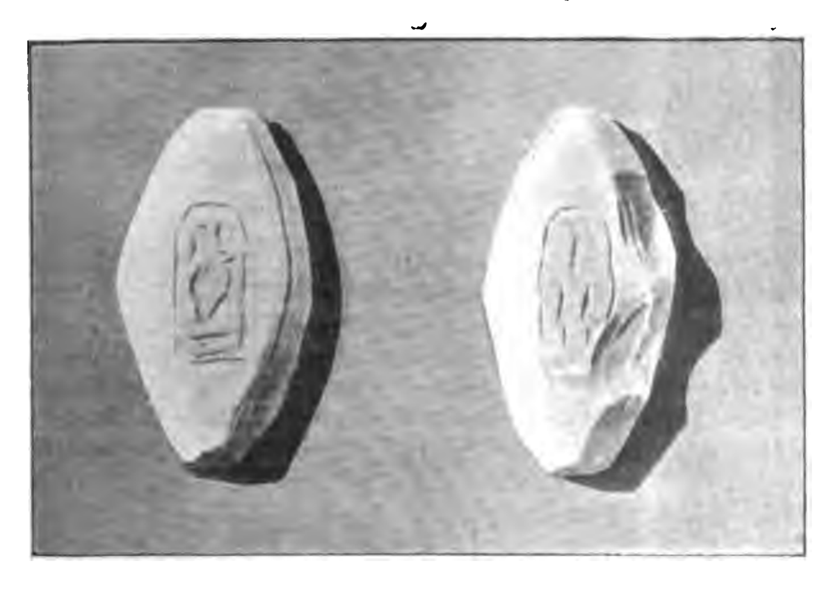
Fig. 12 et 13. — Verres à miniatures.



FIG. 14 à 17. — Verres à miniatures.

COLLECTION FOUQUET

Face antérieure. (du Caire). Face postérieure.



Ramaneb (Aménophis III). FIG. 18 et 19. RÄ.

une plaque ronde ou ovale de verre coloré, des émaux, des fils ou des feuilles d'or. Les produits obtenus ainsi sont de très petite dimension et ont dû être



Fig. 20 à 26. — Verres à miniatures.

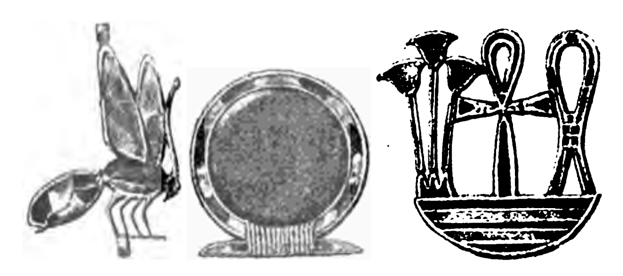


Fig. 27. — Pendeloques en or, enrichies de pierres précieuses.

employés comme chatons de bagues. Le second procédé, auquel sont dues les lames carrées où le sujet apparaît sur les deux faces, consistait à disposer les fils conformément au dessin; puis après avoir soudé les tablettes en fais-

ceaux, on les étirait jusqu'à les réduire au dixième, au centième de leur

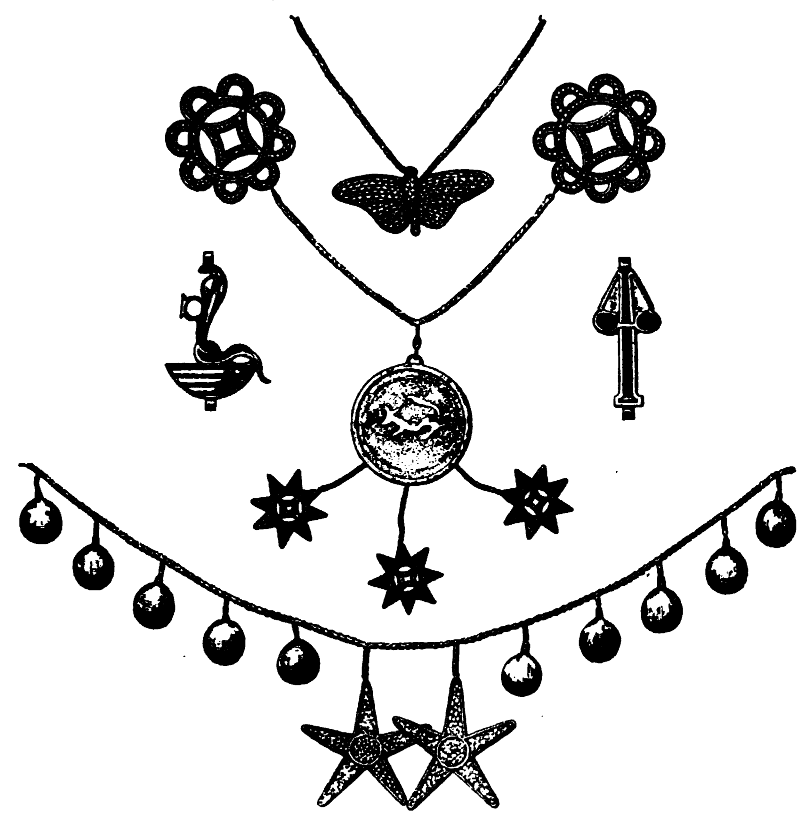


Fig. 28. — Colliers en filigrane d'or et pendeloques.

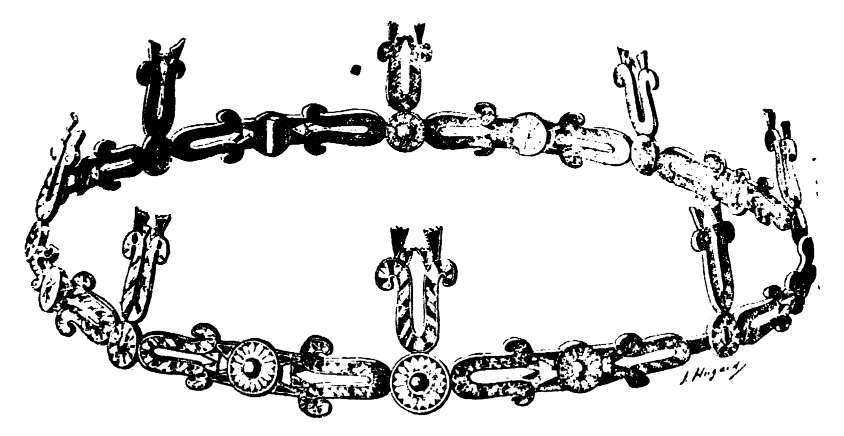


Fig. 29. — Couronne en or, incrustée de cornaline, d'émeraude égyptienne et de lapis-lazuli.

dimension première. Tout en diminuant de proportion, le sujet conservait ainsi ses couleurs et les dispositions du dessin primitif.

une plaque ronde ou ovale de verre coloré, des émaux, des fils ou des feuilles d'or. Les produits obtenus ainsi sont de très petite dimension et ont dû être



Fig. 20 à 26. — Verres à miniatures.

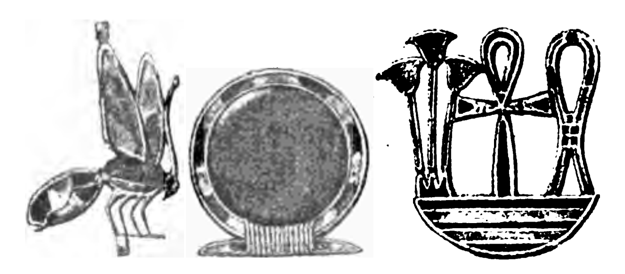
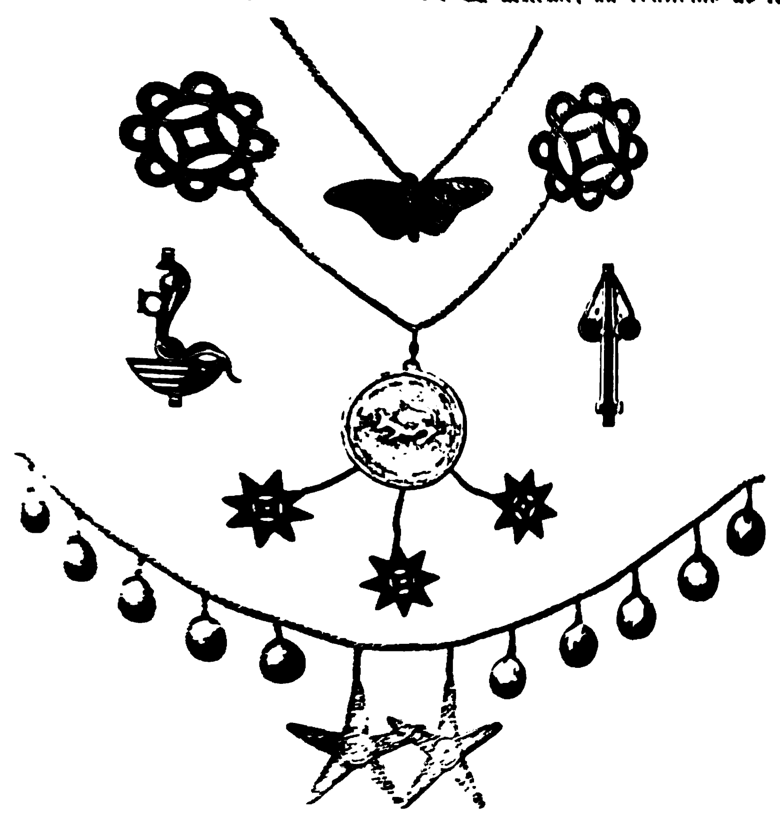


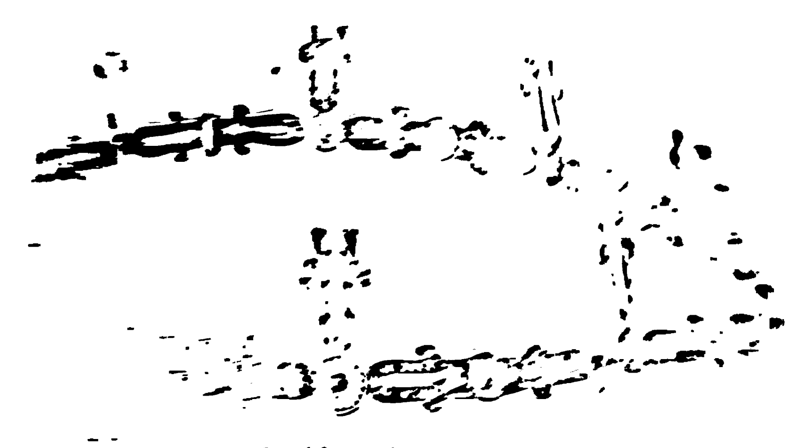
Fig. 27. — Pendeloques en or, enrichies de pierres précieuses.

employés comme chatons de bagues. Le second procédé, auquel sont dues les lames carrées où le sujet apparait sur les deux faces, consistait à disposer les fils conformément au dessin; puis après avoir soudé les tablettes en fais-

ceaux, on les étirait jusqu'à [illegible] au centième de leur



[illegible] — [illegible] d'or et pendeloques.



[illegible]

[illegible] de proportion [illegible]
[illegible] pendant.

Nous avons eu la bonne fortune de recevoir de M. le Dr Fouquet divers objets d'origine égyptienne.

Nous les avons soumis à l'analyse et nous croyons intéressant de faire connaître au lecteur les résultats de quelques-unes de ces analyses.

Les Égyptologues que ces questions intéressent trouveront dans les

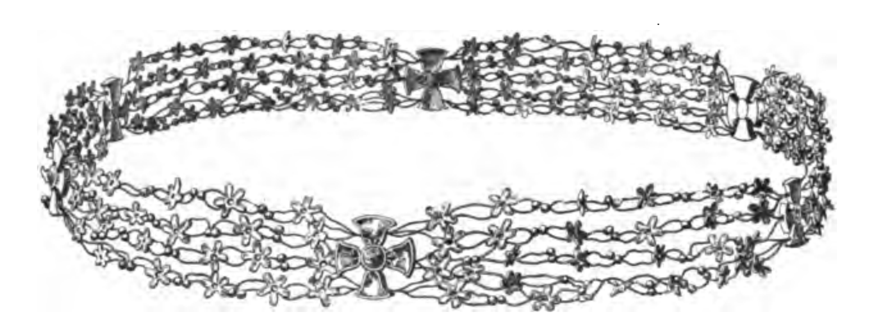


Fig. 30. — Couronne formée d'entrelacs de fils d'or et enrichie de pierres précieuses.

ouvrages de M. Maspero, le savant universellement connu, les détails complémentaires dans lesquels nous ne pouvons entrer ici.

	VERRES ÉGYPTIENS, ÉPOQUE ARABE, trouvés dans les collines de décombres du vieux Caire, au lieu dit Abac Séoud.					GRAINS DE VERRE détachés de sarcophages égyptiens.		
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII	VIII.
Silice.	68,70	68,90	67,20	66,10	67,05	66,90	66,10	62,80
Alumine	3,67	3,47	3,50	6,54	4,56	6,06	7,59	7,80
Peroxyde de fer.	1,13	1,63	1,84	2,36	0,64	0,64	0,71	1,43
Chaux	10,70	10,30	11,20	5,60	11,00	11,46	8,80	10,10
Magnésie. . . .	4,43	2,96	4,32	0,54	3,65		1,19	1,44
Potasse.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.	Traces.
Soude	8,80	10,97	11,66	16,32	12,93	14,94	15,20	16,00
Oxyde de manganèse. . . .	2,40	1,20	»	»	Traces.	»	»	»
Oxyde de cobalt.	»	»	Traces.	»	»	»	»	0,40
Oxyde de cuivre.	»	»	»	2,10	»	»	»	»
	99,83	99,43	99,72	99,56	99,83	100,00	99,59	99,97

I. Masse de verre violacé, coupé de tranches vertes. Ce verre est en partie dévitrifié.
II. Masse de verre vert ayant de légères irisations à la surface.
III. Masse de verre bleu verdâtre ayant de légères irisations à la surface.
IV. Verre vert teinté de rouge (sorte d'aventurine).
V. Verre blanc.
VI. Verre vert.
VII. Verre jaune.
VIII. Verre bleu.

Le lecteur que ce sujet intéresse particulièrement trouvera des détails complets dans l'ouvrage : *Description de l'Égypte*, tome XII, pages 405, 406, 407, fig. 13, 14, 15, 16, 17, du grand ouvrage édité par Panckouke, à la suite de la campagne d'Égypte par le général Bonaparte. Cet ouvrage se trouve entre autres endroits, à la Bibliothèque du ministère des affaires étrangères où il a été mis obligeamment à notre disposition par l'aimable et distingué bibliothécaire, ministre plénipotentiaire honoraire, M. Gérard de Rialles.

Verres ornés de pierres artificielles. — Les anciens ont connu les vases d'or et d'argent incrustés de pierres précieuses et aussi des bijoux. On



Fig. 31 et 32 — Vases ornés de pierres précieuses.

voit à la Bibliothèque nationale la coupe d'un roi Sassanide, Chosroës II (590-628), curieux spécimen de ce genre d'orfèvrerie. On remarque aussi au musée de Londres un vase de plomb décoré de sujets bachiques en relief et d'un cercle de médaillons en pâte vitreuse. Il s'agit probablement du modèle dont s'est servi un ciseleur. On cite encore une amphore grecque en terre brune garnie de pâtes colorées et un petit vase en terre rouge incrusté de morceaux de silex qui existe au musée du Louvre. Ce dernier a été retiré des eaux du Vulturne.

Voilà donc bien le point de départ, les modèles du travail imitatif des verriers. Mais l'objet le plus remarquable et qui ne laisse plus aucun doute à ce point de vue, est un petit vase en argent, de forme ovoïde, trouvé en

Italie. La panse est garnie de huit rangées de morceaux de verre bleu foncé qui sont enchâssés à vide, c'est-à-dire dans une découpure du métal, ce qui leur laisse leur transparence. Les verres à incrustation de pierres de couleur sont généralement des verres blancs, coupes et gobelets de toutes formes, ayant pour décoration une ligne, et plus rarement deux, de pâtes bleues ou brunes qui tranchent vivement sur le fond. Parfois l'espace laissé entre les pâtes est ponctué de gouttelettes disposées en triangles ou en losanges et où le bleu alterne avec le vert ou le rouge.

Il y a dans ce genre une grande variété, et aucune espèce ne peut être désignée comme un type classique plutôt qu'un autre.

Verres moulés en forme d'animaux ou de fruits. — L'usage du moule dans la verrerie ne remonte guère au delà du quatrième siècle. C'est un sérieux



Fig. 33 et 34. — Vases moulés en forme de fruits.

perfectionnement qui permet de varier à l'infini la forme des objets et de copier les figures les plus délicates. Les objets préférés sont au début les produits du règne végétal, notamment les fruits : la poire, la pomme, la figue, la datte, la grappe de raisin, la prune. On cite de petits flacons de couleur jaune d'ambre, imitant dans la perfection la forme de la datte sèche et des verres en forme de grappe de raisin d'une exécution irréprochable.

Parmi les objets empruntés au règne animal, on possède des fioles en forme de coquilles bivalves, en pâte bleue ou blanche, qui ont servi aux huiles précieuses, aux aromates pour la toilette; un dauphin trouvé à Cologne; un verre grec en forme de poisson provenant de l'île de Chypre. Les oiseaux, non plus, ne sont pas oubliés. Il y a des colombes, des cygnes, des oies, des canards en verre; les uns de couleur blanche ou bleue; les autres de teinte rougeâtre, violacée. Ces derniers sont généralement des verres soufflés d'une grande légèreté.

Beaucoup plus rarement la figure humaine a été imitée. La collection Charvet possède une magnifique double tête d'enfant trouvée à Saint-Mansuy, près de Toul. On cite encore une tête de jeune Éthiopien aux cheveux crépelés, une tête de Gaulois extraite du cimetière romain de Cologne.

Par contre il existe tout une série de masques en verre. A l'aide du moulage les anciens avaient tellement élargi le domaine de la fantaisie que l'empereur Élagubal, phénicien de naissance, fit servir un jour à ses convives tous les mets d'un festin en pâte vitreuse.

La forme des tonneaux ou des barillets a été également reproduite à profusion. Ces derniers se trouvent notamment en France, en Belgique et sur les bords du Rhin.

Verres ornés de bas-reliefs. — Ces verres forment une classe très nom-



Fig. 35 et 36. — Ampulle. Verres ornés de bas-reliefs.

breuse qu'on peut diviser, selon les origines, en sémitique, grecque et romaine ou gallo-romaine. Les plus anciens remontent aux débuts de la verrerie artistique, les plus modernes touchent au moyen âge. Il en est de toute forme et de toute décoration; et cette dernière se rapporte généralement, par une inscription ou une figure symbolique, à l'usage auquel le vase est destiné.

Pour les verres à boire, c'est la vigne ou quelque symbole du culte de Bacchus, ou encore une inscription adressant un souhait au buveur, en grec ou en latin, selon l'origine : « *Sois gai, et puisses-tu vivre longtemps.* »

Les vases pour le service de la table sont ornés de fleurs, de fruits, de





Fig. 37 et 38. — Gourde. Vases ornés de bas-reliefs.

poissons, etc. On a trouvé à Trèves, et dans le cimetière de Saint-Calliste, à Rome, des coupes chrétiennes où sont figurés des poissons et des coquillages. Sur les flacons ou fioles venant de la Phénicie, on remarque presque toujours deux grenades alternant avec deux cédrats et deux grappes de raisin. Les vases grecs empruntent plutôt leurs sujets à la mythologie. Tantôt c'est Neptune avec son dauphin et son trident; Mercure avec une bourse et un caducée; Jupiter armé de la foudre; Bacchus et la panthère, etc., etc....

La fabrication romaine se reconnaît presque invariablement aux jeux de cirque, aux combats de gladiateurs (1). Plusieurs de ces verres représentent toutes les phases d'une course en chars. On y reconnaît les quatre chars rappelant les quatre factions du cirque romain, les blancs, les rouges, les verts et les bleus. Les chars se suivent au galop, séparés les uns des autres par des mâts indiquant le point de départ et le point d'arrivée des quadriges.

(1) Voir la figure *h* représentée dans la dernière planche de l'atlas.

Verres doublés. — Signalons en passant les verres décorés au moyen de fils de verre collés sur la pâte même du vase, et qui affectent la disposition en



Fig. 39. — Verre doublé.

losanges sur la panse et la disposition en cercles concentriques sur le col. Ils datent généralement de la verrerie romaine à son déclin.

Ceci dit, nous arrivons aux verres doubles qui méritent une mention spéciale. Ces verres, qui sont de splendides spécimens de l'art du verrier,

se composent de deux couches superposées, l'une, ordinairement en pâte bleue, recouverte d'un enduit de blanc opaque. Le procédé est connu; il consiste à cueillir un manchon de verre qui formera la couche inférieure et à le plonger ensuite dans un bain de pâte vitreuse blanche, cette dernière couche s'enlève ensuite au moyen de la taille, de sorte que le bleu reparaît selon les dispositions du dessin en vue.

Les sujets de décoration adoptés pour ce genre de verre étant presque toujours d'art grec, cette fabrication viendrait d'Alexandrie.

Le type le plus apprécié du genre est le vase de Portland, connu de tous





FIG. 40 et 41. — Vase Barberini ou de Portland (*b*).

les amateurs. Ce magnifique objet d'art fut découvert à la fin du seizième siècle dans un tombeau situé sur une colline des environs de Rome, le *Monte del Grano*, tombeau attribué pendant longtemps à Sévère Alexandre.

La bibliothèque Barberini posséda ce vase pendant cent cinquante ans. Il lui fut acheté par Gavin Hamilton et cédé à la duchesse de Portland, d'où son nom. Revendu en 1786 au duc de Portland pour la somme de mille guinées, il fut confié par ce dernier au Musée britannique. Un visiteur maladroit ou aliéné le brisa en 1845, mais il fut restauré avec une habileté qui n'a laissé aucune trace de l'accident.

Verres soudés. — Pendant longtemps les savants ont varié d'opinion sur les origines et le mode de fabrication des verres soudés, appelés par les anciens *vasa diatreta*. On croyait la résille moulée ou taillée dans la matière même du vase ; mais on a reconnu ensuite, et à ce sujet tout le monde est aujourd'hui d'accord, que les verres à réseaux ne pouvaient être obtenus d'une seule pièce et que le treillis d'enveloppe était rapporté après coup sur le corps du vase.

Ce qui a pu donner lieu à l'erreur longtemps répandue est la perfection



Fig. 42. — Verre soudé.

même du travail de ces vases où ne se remarque aucune trace de soudure. Les réseaux sont cependant façonnés à part et soudés ensuite sur le vase.

Parmi les rares et précieux spécimens de ce genre de travail, on cite :

Une coupe de Hohen-Sülzen, d'un diamètre de 21 centimètres, malheureusement incomplète.

Une coupe du musée Trivulce, à Milan, désignée à tort : *Tasse de Néron*, et découverte en 1725 dans la province de Novare. La résille d'enveloppe est en pâte bleue. Au-dessous de l'orifice, on lit : BIBE VIVAS MVLTIS ANNIS. Les baguettes formant l'inscription sont en pâte verte et détachées du vase, comme la résille.

Un verre en pâte blanche trouvé à Cologne, en 1844, et portant la même légende que ci-dessus.

La coupe de l'ancien musée de Strasbourg, détruite dans l'incendie de 1870, était revêtue d'une résille rouge et portait une salutation à l'empereur Maximien-Hercule, le pacificateur des Gaules.

Bien qu'elle appartienne à un procédé de fabrication différent, on peut classer, à la suite de cette riche famille de joyaux de la verrerie antique, une merveille de grâce et de finesse qui n'a pas d'équivalent dans les collections : c'est la coupe du baron Lionel de Rothschild.

De forme ovoïde, ce vase est en pâte verdâtre, d'un vert olive, clair et transparent, et qui prend à la lumière une teinte pourprée. Il n'a pas de réseau, mais certaines parties très saillantes de l'ornementation, dont le sujet est le châtiment du roi Lycurgue par Bacchus, se détachent de la panse et n'y tiennent que par des clous en





Fig. 43 et 43 *bis*.

pâte vitreuse. Il est facile de reconnaître que ces parties, moulées à part, ont été soudées après coup, comme les réseaux. Ce splendide objet d'art semble dater du commencement du quatrième siècle de notre ère.

L'origine de ce genre de fabrication remonte à l'Orient. Deux vases à émail vert, du musée assyrien de Londres, sont enveloppés de réseaux qui ont beaucoup d'analogie avec le treillis des coupes soudées. Les Romains ont ensuite perfectionné les procédés de fabrication.

Les verres montés sur argent forment une série distincte qui appartient autant à l'orfèvrerie qu'à la verrerie. Il en est de très jolis où l'art du ciseleur a complété d'une façon heureuse le travail du verrier. La fabrication est des deuxième et troisième siècles.

Les verres gravés et taillés à la meule sont beaucoup plus anciens. Les premiers remontent à l'époque barbare. L'ornementation consiste d'abord en dessins, en figures géométriques très frustres; elle s'affine ensuite et s'étend aux sujets mythologiques : un verre de Cologne représente la création de l'homme, Prométhée modelant des figures humaines; un autre trouvé près de Mersebourg, le bain de Diane et la mort d'Actéon. Beaucoup de ces vases sont relatifs aux jeux publics et offrent des sujets en rapport avec leur destination. Des verres chrétiens sont ornés de scènes bibliques ou de légendes sacrées.



FIG. 44. — Verre taillé à la meule.

Les verres taillés sont de la même époque, quatrième et cinquième siècle. Ce sont des imitations de cristal de roche à facettes de toutes formes, quadrangulaires, ovales, ogivales, constituant très souvent un décor original.

Les premiers, *verres peints ou dorés*, remontent beaucoup plus haut. La Bibliothèque nationale de Paris possède un fragment de vase en verre blanc, qui représente un cortège de divinités égyptiennes peintes avec des couleurs d'émail. Le peintre sur verre employait la poudre d'or. Une urne cinéraire de l'ancien musée de Walpole est ornée de figures en feuilles d'or adhérentes aux parois du vase. Les peintures en émail sont le plus souvent appliquées dans l'intérieur, les anciens ayant remarqué qu'elles avaient le défaut de s'écailler très vite.

La plupart des verres à dorure appartiennent à l'époque chrétienne. Le procédé employé alors consistait à enfermer la feuille d'or entre deux verres, l'un lui servant d'applique, l'autre la protégeant contre l'usure. Les verriers

byzantins ont continué l'usage de ce mode de travail qui a été retrouvé et appliqué par M. Salviati.

La gravure sur verre prit naissance en Bohême. Ce système d'ornementation nécessita la production d'un verre plus épais, plus blanc, très pur.

Les principaux fondateurs de la verrerie allemande furent Jean Keyl, le chimiste Kunkel, et Gaspard Lehmann, l'inventeur d'un rouet pour polir le verre.

Vers le milieu du dix-septième siècle, Colbert fit venir des ouvriers de Murano et fonda à Tour-la-Ville, près de Cherbourg, une fabrique de *glaces soufflées*. On voit donc que si le verre est d'invention ancienne, la vitre est plus moderne; la glace l'est encore davantage. La vitre de couleur a précédé

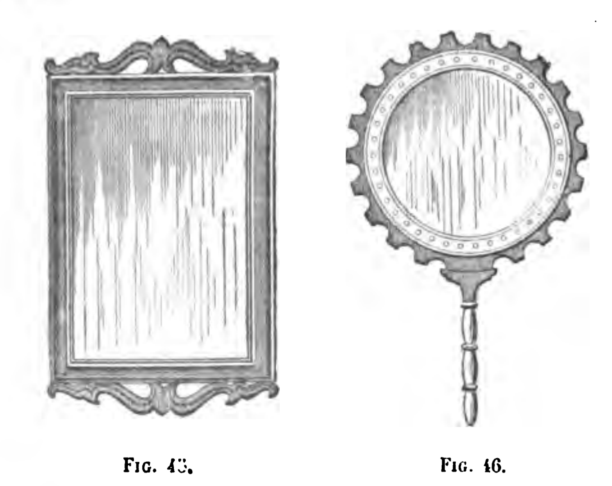


Fig. 45. Fig. 46.

la vitre blanche; le vitrail a précédé le carreau, parce que le verre blanc exige des matériaux bien plus purs.

Le carreau de papier commence à être inconnu dans nos villages, et l'estampe encadrée sous un verre remplace, dans la demeure du paysan, l'image grossière collée à la muraille.

Jusqu'au quinzième siècle, les gens fortunés se sont contentés de miroirs de métal dont il est déjà question dans l'*Exode* et dans Isaïe (fig. 45 et 46). Sous Pompée, Praxitèle, artiste romain, remplaça le cuivre, le bronze, par l'argent, comme plaques de miroirs; les miroirs de glace étaient réservés aux rois; le pauvre se contentait de l'eau de la fontaine, et plus d'un écriteau qui annonce un apprtement orné de glaces pend encore au-dessus de la porte des maisons de certains quartiers de Paris.

LE MIROIR DE MARIE DE MÉDICIS

A Lyon, le 17 décembre 1600, les ambassadeurs vénitiens offrirent à Marie de Médicis, à l'occasion de son mariage avec Henri IV, de riches cadeaux, parmi

lesquels figurent un miroir (fig. 47) et un bougeoir. La plaque, en cristal de roche, était de proportion exceptionnelle, ne mesurant pas moins de $0^m,162$ sur $0^m,137$ et était digne du précieux encadrement qu'on lui avait donné.

A la fin du dix-huitième siècle, ce miroir était estimé 150000 francs.

L'origine de ce miroir est certaine, car elle est mentionnée par les différents inventaires des diamants de la Couronne, notamment par celui de 1791, établi par ordre de l'Assemblée constituante et dont voici le texte exact (1) :

« Miroir de toilette donné à Marie de Médicis par les États de Venise : il est

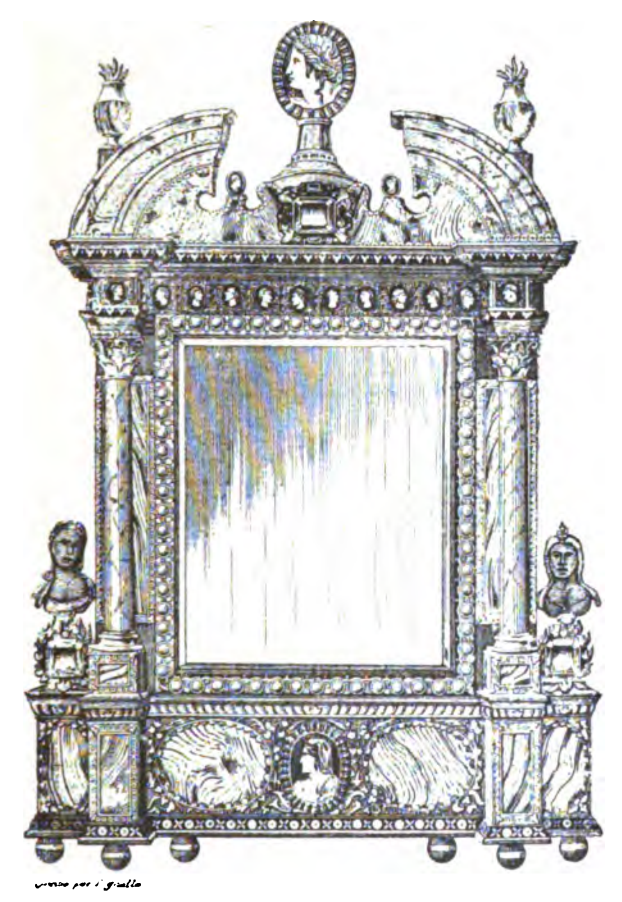


Fig. 47.

orné d'un portique avec deux colonnes de jaspe grisâtre zoné, dont les bases sont d'agathe, et les chapiteaux d'ordre corinthien sont d'or émaillé ; ces colonnes portent un fronton de sardoine onyx, échancré au milieu, d'où s'élève un fust de colonne avec une base qui porte une superbe sardonyx de gravure antique,

(1) *Inventaire des diamants de la Couronne*, 1791, 2e partie, p. 193.

représentant une Victoire, de dix-sept lignes sur treize, entourée d'émeraudes: au-dessous de cette colonne est une émeraude de neuf lignes sur sept, entourée de rubis et de diamants : au-dessous de cette tête et à côté, sont deux têtes de femmes, de gravure moderne, d'agathe onyx, et sur les côtés deux petites consolettes d'agathe, desquelles sort une espèce de flamme ; la frise de la corniche est ornée de douze agathes offrant des têtes d'empereurs, de gravures modernes; le miroir de cristal de roche est entouré de petites agathes onyx ovales arrondies; au-dessous de la glace une sardonyx de gravure moderne représente une tête de femme.

» Sur les deux côtés sont deux figures d'hyacinthe, enrichies de diamants et portées sur deux bases au centre desquelles sont placées deux belles émeraudes.

» La plaque de ce miroir est de cuivre doré, garni d'or émaillé. La hauteur de ce miroir est de quinze pouces, sa largeur de douze pouces. Il manque une agathe onyx, une aigrette et une épaulette en diamants à l'une des figures collatérales; une des colonnes est fêlée. »

Quoique ce miroir ne soit pas travaillé par un art bien pur, et que la richesse de la matière surpasse la qualité du travail, il n'en reste pas moins une œuvre unique et d'un intérêt considérable. C'est un des plus somptueux spécimens de cet art italien, qui vient après la Renaissance, et dans lequel le mélange en pierres de couleur est préféré aux délicates ciselures tracées dans le métal.

En 1665, Abraham Thévart invente un procédé de coulage des glaces. De cette découverte date réellement la fabrication des glaces; c'est le moment de la fondation de la manufacture des glaces de Saint-Gobain, ou plutôt de sa fabrication régulière et progressive. Depuis cette époque, les dimensions des glaces n'ont cessé d'augmenter pour arriver actuellement à la superficie de 26 mètres, superficie de la glace figurant à l'Exposition de 1878.

L'usage habituel nous rend indifférents, et l'incomparable beauté des inventions du dix-neuvième siècle nous laisse trop insensibles aux dons des âges précédents. Nous n'admirons pas assez.

Puisque l'homme était contraint par les rigueurs de la nature à s'enfermer dans des prisons de pierre et de bois, quelle invention que celle d'une vitre, mince, résistante et claire, qui laisse passer le jour en arrêtant le froid ou la chaleur, et semble ne nous garantir de l'air que par une portion de cet air lui-même, condensée et devenue solide ? Et puisque l'homme était organisé de manière à tout voir sans se voir lui-même, quel présent que cette feuille de verre sur une feuille de métal, qui ne fixe pas seulement, comme la plaque du photographe, l'image humaine, immobile et grisâtre, mais la lui rend, aussi bien que celle de la nature, avec la couleur, le mouvement, la changeante expression, l'ombre, la lumière, la perspective, aussi souvent qu'elle se présente !

« La même matière, plus nécessaire encore qu'agréable, donne à Newton, le prisme; à Herschell, le télescope; à Fresnel, le miroir; à Lavoisier, l'éprouvette; au marin, le disque des phares; aux monuments, le magnifique ornement de la grande glace, qui ajoute à l'architecture une vie et une sorte de mouvement et d'étendue que l'antiquité n'a pas connue; à la plus petite mansarde, l'éclat qui la réjouit, et enfin aux voitures, aux magasins, aux habitations mo-

dernes, ces belles fenêtres dont la douce transparence semble mettre d'accord les couleurs et revêtir toutes les perspectives d'une agréable harmonie (1). »

Aux dernières Expositions universelles, on a confondu dans une même classe tout ce qui a rapport à la verrerie; à notre avis c'est une profonde erreur de confondre dans une classe commune un art et des industries qui n'ont d'autre contact que la matière première, qui ne peuvent être appréciés d'après les mêmes règles et les mêmes idées, et dont l'installation matérielle est forcément séparée. Aux prochaines Expositions nous réclamons dans le classement une modification, qui tendrait par exemple, à constituer l'art de la peinture et de la gravure sur verre au milieu d'autres arts semblables de l'art décoratif et monumental, comme la mosaïque d'émail, la peinture sur terre cuite et sur lave, ce qui serait approuvé — nous n'en doutons pas — par tous les hommes compétents.

Aussi, dans ce travail, après avoir fait l'historique de la verrerie en général, et avant de décrire les propriétés chimiques du verre, ses modes de fabrication, ses applications industrielles, nous éprouvons le besoin de consacrer un chapitre d'un ordre spécial appartenant au domaine de l'art, et aux applications de la verrerie aux arts décoratifs.

CHAPITRE II

LA VERRERIE APPLIQUÉE AUX ARTS DÉCORATIFS (2)

L'antiquité, le moyen âge et la Renaissance, chacune de ces époques ayant des règles nées de ses besoins et de ses mœurs, avaient su donner à tous les détails du mobilier un caractère et une beauté qui les constituaient en œuvres d'art du plus haut intérêt.

Le génie de l'invention, la science et le génie de l'industriel ont su atteindre une hauteur qui, en faisant de celui-ci un artiste véritable, ont établi sa gloire sur des bases impérissables. La France surtout, dès le douzième siècle, a donné des preuves de supériorité telles, que tout l'Occident l'a prise pour guide, en ajoutant aux œuvres dont il s'inspirait la marque du style propre à chaque contrée. Cette suprématie incontestée, mais devenue essentiellement relative depuis longtemps, s'est maintenue jusqu'ici, à la condition de vivre, au dix-neuvième siècle, sur le capital que le passé nous a légué. Aujourd'hui on copie au lieu d'imiter; ce retour vers le passé, mis à la mode par le romantisme de 1830, s'est caractérisé bien plus par la copie servile et souvent inhabile que par une imitation intelligente de l'art ancien, accusant un talent personnel et prouvant le

(1) M. Cochin, *Manufacture de Saint-Gobain.*

(2) En écrivant ce chapitre, nous nous rappelons avec émotion les notes prises, il y a quelques années, auprès de M. C. Blanc, membre de l'Académie française, dans une visite faite à l'Exposition, où nous eûmes le plaisir de nous initier à ses idées sur l'art décoratif de la verrerie.

respect des lois harmoniques qui règlent les rapports de la matière et de la destination.

Le dix-neuvième siècle, qui a créé de si grandes choses dans l'ordre scientifique, a montré une véritable impuissance d'invention en matière d'art décoratif et particulièrement dans les arts appliqués à l'industrie du mobilier. Si le goût français, guidé par un instinct propre à sa race, a su rester supérieur, il est stationnaire, bien qu'il ait commencé à s'épurer par l'étude des époques anciennes.

Tout le monde a constaté, en 1878, que plusieurs nations étrangères ont fait de grands progrès dans les diverses applications industrielles de l'art, quand la France, se reposant sur une suprématie que personne ne lui conteste encore, a une marche fort lente. Le niveau moyen est très élevé, mais aucun indice ne vient révéler, chez nos fabricants, le souci de parvenir à des résultats comparables à ceux qui furent obtenus autrefois. Si le goût national existe, il est trop souvent banal et le style manque.

Ces considérations générales s'appliquent à la plupart des branches de l'industrie du verre. L'art y pénètre dans une proportion variable, mais toujours dans une mesure intéressante. La forme d'une bouteille n'est pas chose indifférente, et il est assurément utile de déterminer cette forme de manière à lui donner un caractère qui soit de nature à lui constituer une beauté propre, en harmonie avec le côté pratique d'une fabrication dont les exigences sont nettement définies. Nous insisterons sur les conséquences qui découlent de cette observation, car le goût d'un peuple artiste doit mettre son empreinte sur toutes choses, même les moins importantes et dont l'usage incessant entraîne les prix les plus bas.

On ne fait pas perdre impunément ses droits à la logique. Il est essentiel de considérer la nature, l'essence même de la matière qui est mise en œuvre et de ne lui faire remplir que le rôle, d'ailleurs assez varié, pour lequel elle a été créée. Le verre est une substance légère, transparente, qui ne s'accommode pas des applications aux formes solides et qu'il ne faut pas transformer en moulures telles que le marbre et le bois peuvent les donner.

L'harmonie entre la forme et la matière, combinée avec les convenances de l'usage, doit être la préoccupation constante du fabricant.

Que de variantes dans les procédés industriels pour décorer le verre aussi bien que les autres substances, et combien de preuves on nous donne que le besoin d'orner est inhérent à la nature humaine !

Mais c'est par la couleur surtout que le verre devient décoratif et peut recevoir même une beauté expressive, car les couleurs ont des affinités secrètes avec nos sentiments. Suivant leur qualité, leur profondeur, leur délicatesse, suivant le clair ou le sombre de leurs nuances, elles répondent aux idées de splendeur ou de modestie, de gaîté ou de tristesse, de fierté ou de douceur. Appliquées au verre, elles nous procurent la sensation du changement de teinte dans les liqueurs de la table. Traversée par la lumière, la couleur des cristaux emprunte de leur transparence même une qualité qu'elle ne pourrait avoir sur la laine, la soie ou le velours. A moins d'être opaque, le verre ne réfléchit pas la couleur : il s'en

imbibe, pour ainsi dire, il représent..
des pierres précieuses, rubis, ..
la congélation serait passé..

La coloration du cri..
possède le sentim..
doubler, ou ..
pourront to..
donner l'op..
jouer les alternanc..

Les anciens Romains ..
couches superposées, bleue et ..
là semblables aux agates à deux ou plu..
forme la nature et qu'on appelle *onyx* ou s..
en pierres fines, en enlevant une partie de la couch..
la couleur de la couche de dessous et parvenait ainsi à ..
figures claires sur un fond brun ou ardoisé, de même l'artiste ..
de ciseler la couche blanche du dessus suivant les contours d'une ..
d'un ornement et d'enlever au touret cet ornement ou cette figure sur le lit ..
du verre. C'est ainsi que fut décoré, du temps des Antonins, selon toute apparence, le célèbre vase trouvé aux environs de Rome, dans un sarcophage antique et connu aujourd'hui sous le nom de vase de Portland (1) ou Barberini (fig. 40 et 41), et dont nous avons vu des imitations à l'Exposition de 1878, dans la section anglaise, Un de ces vases, dont le travail de taille était inachevé, représentait déjà une dépense de 62 500 francs.

L'artiste romain, par une transposition de procédés, se trouvait avoir donné à un vase l'apparence d'un superbe camée, de forme sphérique, à ce point que longtemps ce précieux vase a passé parmi les savants pour une pierre gravée.

L'opposition des verres transparents avec les verres opaques est aussi un moyen charmant de décoration ; à cet effet, on a imaginé les verres opalins, qui sont translucides et ressemblent à de la porcelaine, mais en conservant l'opacité qui est un des éléments de contraste désiré.

On doit rechercher ces effets de préférence pour les verres et les cristaux d'étagère, dont l'unique objet est de décorer, et aussi pour les appareils d'éclairage qui, dans un repas, doivent tamiser la lumière, et dans un cabinet d'étude, la masquer au regard pour la concentrer sur les objets regardés.

Voilà pourquoi on a substitué à des globes de lampe en opale, au travers desquels la flamme de la lampe paraissait rouge, un cristal blanc de lait, beaucoup plus opaque, qui fait disparaître le foyer, et qui répand une lumière égale et nette sur toute la surface du globe.

En somme, rien ne manque à la palette du verrier, puisqu'il est en possession de tous les oxydes qui produisent dans le verre les colorations les plus éclatantes ou les nuances les plus fines, et qu'il peut y ajouter les deux non-couleurs si bien venues dans l'art décoratif, le blanc et le noir. Ce verre noir, c'est l'*hyalite*, dont nous parlerons au chapitre des verres colorés.

(1) Ce vase est ainsi nommé parce qu'il fut acheté à Rome par la duchesse de Portland. Il mesure 0m,30 sur 0m,16. Il est à Londres, au British-Museum.

ncore atténuer le noir, par les trois oxydes qui pro-
le violet, et qui en se combinant se neutralisent,
fuligineuse, dite fumée, laquelle s'emploie surtout
s destinées aux vues affaiblies.
natures raffinées, et dont il faut user avec beaucoup
le la verrerie, c'est la dorure. La dorure est un rehaut
mates, non seulement pour les égayer, mais pour les
s brillants des objets sur lesquels on veut les détacher.
à cause de leur teinte laiteuse, et les verres pâte de
-opacité, souffrent d'être relevés par des dorures, et
pour suffisent sur les bords de la coupe ou du verre, ou sur les bagues Mais dorer ou argenter un cristal est une idée malheureuse, à moins qu'il soit d'un ton très soutenu, d'une teinte sombre. Si les cristaux d'un rouge profond, d'un blanc intense, et les verres d'un beau noir, les hyalites, peuvent être rehaussés d'or, il n'en est pas de même des cristaux d'un ton clair et à plus forte raison du cristal blanc. Quand une matière est aussi belle par elle-même, tout ornement étranger y devient malséant, car c'est un pléonasme que d'ajouter du brillant à ce qui brille. Pline allait jusqu'à blâmer même la coloration du verre: « Nulle substance, dit-il, n'est plus maniable et ne se prête mieux aux couleurs ; mais le verre le plus estimé reste toujours le verre incolore et transparent, plus semblable au cristal de roche. »

Il est du reste bien facile au verrier de tirer parti des ressources que lui fournit la nature des substances colorantes, par exemple de la propriété qu'ont certains minéraux transparents d'offrir une couleur différente, suivant qu'ils frappent l'œil par réflexion ou par réfraction. L'oxyde d'urane a justement cette propriété qu'on nomme *dichroïsme;* il donne au verre, dans la composition duquel on le fait entrer, une apparence *dichroïde,* en produisant une nuance jaune-citron par réfraction, et par réflexion un vert clair un peu nuageux, et comme en regardant un vase on peut apercevoir à la fois ou séparément les rayons réfléchis et les rayons réfractés, on jouit de ces deux couleurs, tantôt par alternance, tantôt par un mélange, d'où il résulte une jolie teinte soufre.

La cristallerie de table n'est jamais plus belle que lorsque, dans sa limpidité parfaite, elle attend la couleur ambrée, paille, roseau, rubis, des boissons qu'on y versera, le ton rouge, orangé, gris-fer, pourpre et violet des fruits qui seront rangés sur les degrés circulaires d'une pyramide en verre taillé. Le désir de voir ce que renferme un verre est si naturel que souvent le vin est servi dans des carafes comme si l'on voulait en jouir par la vue avant de le boire, et malgré les protestations des fins gourmets qui veulent qu'on respecte la vénérable moisissure qui s'est développée à la surface des bouteilles verdâtres.

Le verrier a dû répondre aux fantaisies qui se sont imposées à lui, au point de vue de la décoration de nos demeures, et a dû satisfaire ces fantaisies; il a fait les vitres cannelées, le verre mousseline, les verres gravés, puis les vitraux.

Nous devons encore citer les belles applications du verre à la couverture et même aux parvis de certains monuments, tels que le Cristal Palace près de Londres, le Palais de l'Industrie et le hall du Comptoir d'Escompte, à Paris.

L'emploi du verre pour le vitrage des serres annexées à nos demeures, est d'un effet très heureux ; elle permet à ces serres de se prolonger en terrasse, d'ouvrir sur un balcon, elles servent de transition entre la maison et le jardin.

L'art peut pénétrer dans les plus humbles demeures rien qu'en s'attachant à la décoration des vitres pour y produire des effets analogues à ceux de la lithophanie allemande ; témoin ces gravures que l'on obtient actuellement au moyen des photographies sur verre, le verre impressionné constituant un cliché négatif qui sert de réserve et présente ainsi certaines parties de la vitre que l'on expose ensuite à l'action d'un jet de sable projeté violemment à sa surface à l'aide d'un appareil Tilghman par exemple, dépolissant ainsi une partie de la vitre.

LIVRE DEUXIÈME

CHAPITRE PREMIER

On donne le nom de *verre* à une substance fusible à une température élevée, cassante, dure, transparente, insoluble dans l'eau, pouvant résister à l'action des acides, même concentrés, formée par la combinaison du silicate de potasse ou du silicate de soude avec un ou plusieurs des silicates suivants : silicate de chaux, de magnésie, de baryte, d'alumine, de fer, de zinc.

Le silicate de potasse, fondu avec le silicate de plomb, donne une espèce particulière de verre qu'on appelle *cristal.*

Tous les verres subissent une fusion complète sous l'influence de la chaleur ; la nature et la proportion des bases qu'ils contiennent, exercent une grande influence sur leur fusibilité ; la nature et la proportion des bases ne modifient pas seulement leur fusibilité, mais elles modifient aussi leurs autres propriétés, telles que la dureté, la densité, le pouvoir réfringent, la solubilité dans l'eau.

Les verres à base de plomb sont caractérisés par leur fusibilité et leur propriété de réfracter la lumière plus puissamment qu'aucun autre. Les verres à base de baryte et d'oxyde de zinc présentent des propriétés analogues à celles des verres à base de plomb.

Lorsque plusieurs de ces silicates se trouvent ensemble, dans un même verre, leurs propriétés originaires sont modifiées en partie ; le verre qui en résulte, est plus stable, plus fusible et moins sujet à cristalliser.

Ces faits ont pour le verrier une grande signification : ils démontrent la nécessité d'introduire plusieurs bases dans la *composition* du verre ; c'est là une question de production du verre à un prix de revient permettant la lutte et le succès final.

L'addition d'une petite quantité d'arséniate de soude ou de potasse augmente beaucoup la fusibilité des verres.

Le choix des silicates, leur qualité et leur quantité a une grande influence sur les propriétés de la masse du verre. Les *silicates des métaux alcalins* communiquent au verre une grande fusibilité et de la plasticité ; le silicate de potasse lui donne moins d'éclat que le silicate de soude, mais par contre il fournit un produit incolore ; la soude, au contraire, communique toujours au verre une teinte d'un bleu verdâtre.

Le *silicate de chaux* rend le verre plus fixe, plus dur et plus éclatant, mais aussi plus difficilement fusible ; il en est de même, à un degré plus élevé encore, pour les silicates de magnésie et d'alumine.

Les *silicates de plomb et de bismuth* rendent le verre facile à fondre et à polir, ils lui donnent en outre un grand éclat, un pouvoir réfringent considérable, ce qui est précieux au point de vue optique. Le *silicate de zinc* et le *silicate de baryte* se comportent comme le silicate de plomb, seulement le verre de baryte est plus dur que le verre de plomb, il est en outre sujet à la dévitrification. Le *silicate de zinc* a cela de particulier qu'il fait disparaître la coloration verdâtre du silicate de soude. Les *silicates de fer, de manganèse*, rendent le fer plus fusible et le colorent fortement.

CLASSIFICATION, COMPOSITION ET DENSITÉS DES DIVERSES ESPÈCES DE VERRE

Le verre prend des noms différents suivant la nature des bases qui entrent dans sa composition. Les verres peuvent être divisés en :

Verre soluble. — Silicate de potasse ou de soude.

Verre de Bohême. Crown-glass. — Silicate de potasse et de chaux.

Verre à vitres. — Silicate de soude et de chaux.

Verre à bouteilles. — Silicate de soude, de chaux, d'alumine et de fer.

Cristal ordinaire. — Silicate de potasse et de plomb.

Flint-glass. — Silicate de potasse et de plomb plus riche en oxyde de plomb que le cristal.

Strass. — Silicate de potasse et de plomb, encore plus riche en oxyde de plomb que le flint-glass (le strass est la base des pierres précieuses artificielles).

Émail. — Silicate, stannate ou antimoniate de potasse ou de soude et de plomb.

La composition de ces diverses sortes de verre, prise chacune en particulier, ne présente pas la constance qu'on observe dans les produits ou composés chimiques cristallisés et bien définis.

On rencontre au contraire, — en particulier dans la fabrication des verres communs, — des variations très notables qui sont motivées le plus généralement par des qualités spéciales que le consommateur exige du produit, et aussi par des raisons d'ordre purement économique.

D'ailleurs si on remarque que la silice, qui constitue l'élément acide du verre, possède la propriété de s'unir à des quantités variables de bases, sans que les produits obtenus diffèrent sensiblement entre eux comme aspect extérieur, on s'expliquera comment les verriers peuvent être amenés à modifier leurs compositions, pour répondre à cette nécessité industrielle : abaisser le prix de revient.

Les variations de composition s'observent surtout dans la fabrication des objets de verrerie d'usage journalier, très répandus dans le commerce, tels que les bouteilles, la gobeletterie commune, produits pour lesquels, aux yeux de la masse des consommateurs, la qualité la plus recherchée est le bon marché.

Voici la composition des principaux verres :

	VERRE SOLUBLE DE KULMANN.	VERRES SOLUBLES.	VERRE DE BOHÊME.	VERRE A VITRES.	VERRE A GLACES.	VERRE A BOUTEILLES.	CROWN-GLASS ANGLAIS.	CRISTAL.	FLINT-GLASS.	STRASS.	ÉMAIL.	CROWN DE GUINAUD.	GLACES DE SAINT-GOBAIN.
Silice............	69	69,88	71,6	69,75	75,9	53,55	62,8	56,0	42,5	38,2	31,6	72,1	72,1
Chaux..............	»	»	10,0	13,31	3,8	29,22	12,5	2,6	0,5		»	9,7	12,2
Potasse............	»	30,12	11,0	»	»	5,48	22,1	8,9	11,7	7,8	8,5	18,2	»
Soude....	31	»	»	15,22	17,5	»	»	»	»	»	»	»	15,7
Magnésie..........	»	»	2,3	»	»	»	»	»	»	»	..	»	traces
Alumine...........	»	»	2,2	1,82	2,8	6,01	2,6	»	1,8	1,0		»	traces
Oxyde de fer.......	»	»	3,9	»	»	5,74	»	»	»	»		»	»
Oxyde de manganèse.	»	»	0,2	»	»	»	»	»	»	»		»	»
Oxyde de plomb.....	»	»	»	»	»	»	»	32,5	43,5	53,0	50,3	»	»
Acide stannique. . .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	9,8	»	»

Le *poids spécifique du verre* dépend de sa composition ; le verre chargé de chaux est le plus léger, les verres plombifères sont les plus lourds.

	Densité.
Verre de Bohême.............	2,396
Crown-glass..................	2,487
Glaces de Saint-Gobain.........	2,488
Verre à vitres...............	2,642
Verre à bouteilles.............	2,732
Cristal.......................	3,255
Flint-glass...................	3,600
Flint-glass de Faraday.........	5,440
Verre de thallium..........	5,620

La réfraction est simple pour les verres refroidis lentement, elle est double pour ceux qui sont refroidis rapidement et comprimés. Les degrés de réfraction sont très différents : ce sont les verres de plomb et de bismuth qui réfractent le plus fortement la lumière, mais ils n'atteignent jamais le degré de réfraction des corps à l'éclat adamantin. Si l'on prend le vide pour unité, le coefficient de réfraction du cristal de roche à éclat vitreux = 1,517, tandis que celui du diamant = 2,506. Pour le crown-glass de Frauenhofer du poids spécifique de 2,52, le coefficient de réfraction = 1,534 à 1,544; pour le flint-glass de Frauenhofer du poids spécifique de 3,17, le coefficient de réfraction = 1,637 et il est de 1,71 à 1,965 pour le verre de thallium.

CHAPITRE II

Silicates. Leurs propriétés. — L'acide silicique hydraté se comporte par voie humide comme un acide très faible à la température ordinaire, mais son énergie acide augmente rapidement sous l'influence de la chaleur; à la température de 100 degrés, il décompose les carbonates, les azotates; à une température plus élevée, la silice et le quartz porphyrisé peuvent décomposer presque tous les sels formés par les oxacides; les arséniates et les phosphates résistent, à peu près seuls, à l'action de l'acide silicique au rouge vif.

On trouve dans la nature, et on produit dans les usines ou dans les expériences de laboratoire, un nombre considérable de silicates, anhydres ou hydratés, renfermant une ou plusieurs bases, cristallisés, cristallins ou compacts. La composition d'un certain nombre de silicates peut être représentée par des formules simples, dans lesquelles les rapports entre les proportions de l'oxygène des oxydes et de l'acide suivent des règles fixes, analogues à celles qui ont été observées pour les sels formés par les autres acides. Mais pour plusieurs silicates, naturels ou artificiels, il n'y a aucune relation simple entre les proportions d'oxygène que contiennent les bases et l'acide, et on serait porté, à première vue, à supposer que l'acide silicique peut se combiner avec des quantités indéterminées des divers oxydes. En réfléchissant à l'existence d'un grand nombre de silicates de composition définie, aux circonstances diverses dans lesquelles les silicates ont pu se former dans la nature, aux conditions dans lesquelles on produit les composés artificiels, on est ramené à une opinion différente; on peut toujours expliquer les anomalies que présente la composition de certains silicates en admettant des mélanges de plusieurs silicates entre eux, ou de silicates avec de l'acide silicique ou avec des oxydes non combinés.

Silicates simples. — On désigne sous ce nom les silicates qui renferment une seule base, ou bien une base et de l'eau combinées; ils peuvent contenir, suivant leur mode de formation, soit des composés définis de l'acide silicique avec l'oxyde, soit des composés définis mélangés avec un excès d'acide silicique, ou avec un excès de l'oxyde.

Fusibilité. — Les silicates de potasse et de soude fondent avec la plus grande facilité. La lithine donne également des silicates très fusibles; elle paraît même plus fondante que la soude.

En chauffant du quartz porphyrisé, après l'avoir intimement mélangé avec du carbonate de baryte, on obtient des silicates de baryte bien fondus, ou simplement agglomérés, suivant la proportion de l'acide silicique et de la baryte.

Les silicates de strontiane sont un peu moins fusibles que ceux de baryte; le maximum de fusibilité paraît répondre à la composition $SiO^3 + StO$.

Chaux. — Quand on chauffe fortement un mélange intime de quartz pulvérisé et de carbonate de chaux, tout le quartz passe à l'état de silicate lorsque la chaux est en excès convenable; on n'obtient de silicate fondu que si l'acide

silicique et la chaux sont compris entre certaines limites. Le maximum de fusibilité répond à la composition $SiO^3 + CaO$, ou bien, en nombres ronds, à :

Acide silicique	63,00
Chaux	37,00
	100,00

Ce silicate fond en un verre assez fluide à la température des essais de fer; il se ramollit à peine dans les fourneaux de calcination dont on se sert habituellement dans les laboratoires. Les silicates qui contiennent l'acide silicique et la chaux dans les proportions indiquées par les formules $SiO^3 + 3\,CaO$, $3\,SiO^3 + CaO$, éprouvent un commencement de fusion dans les grands fours à porcelaine et dans les fourneaux à essais de fer. Lorsque la chaux ou le quartz sont en excès plus considérable, il n'y a pas même de ramollissement.

Magnésie. — En chauffant à une température élevée des mélanges intimes de quartz porphyrisé et de magnésie caustique, on détermine la formation de silicates de magnésie; ces composés sont très peu fusibles, même à la température des essais de fer. Le maximum de fusibilité paraît répondre à la composition représentée par la formule SiO^3MgO, ou par les nombres:

Acide silicique	70,00
Magnésie	30,00
	100,00

Ce silicate éprouve seulement un commencement de fusion à la température à laquelle la fonte est parfaitement liquide; il ne se ramollit pas dans les fourneaux ordinaires de calcination.

Alumine. — Les silicates d'alumine sont à peu près infusibles; on ne parvient que très difficilement à les former en chauffant fortement du quartz porphyrisé avec de l'alumine calcinée.

Les silicates qui se rapprochent de la composition représentée par la formule $3\,SiO^3 + Al^2O^3$ se ramollissent dans les grands fours à porcelaine et dans les fourneaux à essais de fer.

La formule précédente se traduit par les nombres suivants:

Acide silicique	73,00
Alumine	27,00
	100,00

Ils répondent probablement au maximum de fusibilité des silicates d'alumine.

La silice et l'alumine hydratées se combinent bien plus facilement, par voie humide, que le quartz porphyrisé et l'alumine calcinée, par voie sèche; les silicates ainsi obtenus, et ceux qu'on trouve tout formés dans la nature, ne sont pas plus fusibles que ceux qu'on cherche à produire par calcination du quartz mélangé avec l'alumine.

Oxydes métalliques. — On peut obtenir facilement des silicates simples avec la plupart des oxydes métalliques en chauffant fortement le quartz porphyrisé, mélangé intimement avec les oxydes. Presque tous les silicates formés par ceux des protoxydes qui sont des bases fortes sont fusibles, pourvu, bien entendu, que l'acide silicique et les oxydes se trouvent en présence dans des proportions convenables. Les silicates formés par les peroxydes sont, en général, peu fusibles. Du reste, chaque oxyde métallique possède une faculté fondante, qui dépend de sa nature et de sa propre fusibilité, au moins autant que de l'énergie basique qu'il manifeste dans les diverses réactions par voie humide.

Les silicates formés par les protoxydes de cérium, de fer, de cobalt, de nickel, de manganèse, de plomb, d'étain, et par l'oxydule de cuivre, sont fusibles à des températures relativement peu élevées, quand leur composition ne s'écarte pas beaucoup de celle que représente la formule $SiO^3 + RO$.

L'oxyde de zinc ne forme pas de silicates fusibles.

Le sesquioxyde de bismuth donne des silicates aussi fusibles que ceux de l'oxyde de plomb, et qui se dissolvent également dans un excès d'oxyde en fusion.

Les silicates d'oxyde d'antimoine sont moins facilemeut fusibles; cependant plusieurs d'entre eux peuvent acquérir une fluidité parfaite dans les fourneaux de calcination.

Le sesquioxyde de fer forme des silicates presque aussi infusibles que ceux d'alumine. Lorsqu'on fait des expériences sur la fusibilité des silicates de protoxyde et de peroxyde de fer, il faut faire une grande attention à la nature oxydante ou réductive des gaz qui entourent les creusets dans lesquels les matières sont renfermées. Ces gaz pénètrent toujours en partie dans les creusets et peuvent agir énergiquement sur les oxydes de fer, dans les silicates, pulvérulents, agglomérés, ou même parfaitement fondus. Les gaz oxydants ou réductifs peroxydent le protoxyde de fer, ou ramènent le peroxyde à l'état de protoxyde, avec autant de facilité que les réactifs, oxydants ou réductifs, de la voie humide agissent sur les dissolutions chlorhydrique ou sulfurique des deux oxydes du même métal.

Le bioxyde d'étain ne forme pas avec l'acide silicique de composés bien fusibles.

Solubilité dans l'eau. — Les silicates alcalins sont seuls solubles dans l'eau; ils s'y dissolvent d'autant plus aisément qu'ils renferment une proportion plus considérable d'alcali. L'action de l'eau, déjà sensible à la température ordinaire, devient plus énergique à l'aide de la chaleur : la vapeur d'eau décompose à peu près complètement les silicates simples de potasse et de soude, même quand ils ne renferment qu'une très faible proportion d'alcali. Quant aux silicates alcalins facilement solubles, il est probable qu'ils sont décomposés partiellement par l'eau en excès, de la même manière que les borates, mais le fait n'a pas encore été démontré nettement, comme pour ces derniers.

Les silicates de baryte, de strontiane et de chaux, dont la composition est telle que la totalité de la terre alcaline est combinée avec l'acide silicique, sont insolubles dans l'eau, et ne sont décomposés par cet agent qu'avec une extrême

lenteur; aussi peut-on connaître aisément si, dans un silicate formé par calcination du quartz avec la chaux, la strontiane ou la baryte, la terre alcaline est entièrement combinée avec l'acide. En traitant par l'eau on enlève peu à peu la partie de la base qui n'est pas à l'état de silicate, et on laisse indissous le silicate lui-même. Les combinaisons de l'acide silicique avec l'alumine, et avec les oxydes métalliques, sont solubles dans l'eau, et ne sont pas décomposés par cet agent.

ACTION DE L'EAU SUR LE VERRE

Les premières expériences relatives à l'action de l'eau sur le verre ont été faites par Cadet, pharmacien major des Invalides, qui a fait part de ses recherches à l'Académie des sciences en un mémoire « Expériences qui m'ont paru pouvoir servir à démontrer que le borax contient véritablement une terre vitrifiable. »

Cette question a été ensuite étudiée par Scheele et Lavoisier.

Ces illustres chimistes, contrairement à l'opinion alors généralement reçue, observèrent que l'eau ne se change pas en terre par l'évaporation, que le dépôt d'apparence terreuse qu'elle laisse quelquefois dans les vases en terre dans lesquels on la fait bouillir ou distiller, est dû uniquement à une altération des parois de ces vases.

Voici ce qu'on lit dans la préface du *Traité chimique de l'air et du feu,* par Scheele, ouvrage traduit de l'allemand par le baron Dietrich, à la demande de Turgot qui cultivait la chimie avec passion et auquel aucune science n'était étrangère, dit l'auteur de cette traduction : « J'admets pour certain que l'eau pure en elle-même ne saurait être convertie, ni par l'air, ni par la nature, en une matière sèche, douée de toutes les propriétés d'une vraie terre. Je sais parfaitement que l'on peut obtenir une terre par des distillations réitérées et la trituration de l'eau; il ne me suffisait pas d'avoir lu ce fait, il fallait par moi-même que je visse cette merveilleuse conversion. Je pris un quart d'once d'eau de neige distillée, je la versai dans un petit matras de verre, de la forme et de la grandeur d'un œuf, pourvu d'un col étroit, long d'environ une aune: j'y fis bouillir l'eau et bouchai de suite hermétiquement le matras, je le suspendis ensuite sur une lampe allumée et j'entretins l'ébullition sans interruption pendant douze jours et douze nuits. Au bout de deux jours, l'eau avait un œil blanchâtre, six jours étant révolus, elle était comme du lait, et, en douze jours, elle paraissait épaisse. Tout étant refroidi, je ne remuai point le matras, pour que la poudre blanche pût se déposer, ce qui n'eut lieu qu'au bout de deux jours. J'en décantai l'eau, dont les propriétés étaient de dégager l'alcali volatil du sel ammoniac avec lequel on la mêla; d'être coagulée par l'acide vitriolique, de précipiter les solutions métalliques, de verdir le sirop de violette, et de devenir gélatineuse à l'air libre; la terre blanche, très déliée, se comportait comme de la terre vitrifiable mêlée avec un peu de chaux. Je cassai le matras, et je trouvai que sa surface intérieure était mate et sans brillant jusqu'à la hauteur où l'eau bouillante montait ; ce qui ne fut visible que lorsque le verre fut sec. Pourrais-je donc encore douter que l'eau par une longue ébullition ne décomposât le verre? N'ai-je pas ici une véritable liqueur des cailloux : il s'en faut donc bien que la terre que j'ai obtenue

dût son origine à l'eau. Je n'eus pas plus de succès en broyant un peu d'eau distillée pendant deux heures dans un mortier de verre; elle y prit une couleur laiteuse. Lorsque la matière blanche fut déposée, je la décantai; cette eau avait les qualités de l'eau pure, n'indiquant rien d'alcalin. La terre blanche n'était autre chose que du verre pulvérisé. »

Vers la même époque, Lavoisier arrivait aux mêmes conséquences. Il renfermait de l'eau dans un alambic en verre nommé *pélican*, disposé de manière à reporter dans le corps du vase le produit de la distillation qui, par ce moyen, se répétait continuellement.

Après une distillation de cent et un jours, le poids total du vase et de l'eau est demeuré le même ; mais l'eau ayant été séparée de son sédiment, l'appareil s'est trouvé sensiblement diminué de poids, et l'eau augmentée de la même quantité ; enfin l'eau séparée de son sédiment et distillée de nouveau a formé un nouveau dépôt, semblable au premier, qui formait, avec lui, un poids un peu supérieur à ce que le pélican avait perdu ; d'où résultent, dit Lavoisier, deux vérités également importantes : la première, que la nature de l'eau n'est pas altérée par la distillation ; et la seconde, que le verre est dissoluble dans l'eau. Pendant l'espace de cent et un jours l'alambic de verre n'avait perdu que 17 grains, soit $0^{gr},900$.

Il résulte de ce qui précède que l'eau altère le verre ; mais ce fait parfaitement établi par Scheele et Lavoisier, avait en quelque sorte été oublié pendant un grand nombre d'années, et les chimistes ne lui avaient pas accordé l'attention qu'il méritait. En 1811, M. Chevreul, dans ses recherches sur la matière colorante du campêche, fit remarquer que l'eau évaporée dans une cornue de verre laisse un résidu qui manifeste son existence sur l'hématine en agissant sur elle comme un alcali ; il constata que ce résidu, saturé par l'acide sulfurique et évaporé à siccité, laissait une poudre blanche qui avait les propriétés de la silice et fournissait une dissolution contenant un sulfate à base d'alcali fixe. Plus tard, M. Chevreul fit voir dans les verres à base de plomb une altération de même ordre.

Tandis que l'eau froide ou bouillante n'altère qu'avec une excessive lenteur les vases en verre dans lesquels on la maintient en ébullition, et qu'elle agit avec infiniment moins d'énergie encore à froid sur ces mêmes surfaces vitreuses, elle décompose avec une facilité extraordinaire le verre en poudre.

Ainsi une fiole d'un demi-litre de capacité environ perd à peine 1 décigramme de son poids après qu'on y a fait bouillir de l'eau pendant cinq jours entiers, mais si on coupe le col de cette même fiole et qu'on le pulvérise, si l'on fait bouillir la poudre dans le même vase et pendant le même temps, elle subira une décomposition qui représentera jusqu'au tiers de son poids.

D'un autre côté, le même vase qui aurait contenu de l'eau pendant des années sans éprouver dans son poids une perte susceptible d'être accusée par la balance, subira, si on le pulvérise, par le simple contact de l'eau froide pendant quelques minutes une décomposition représentant 2 à 3 pour 100 de son poids.

Toutes les sortes de verres qu'on trouve dans le commerce : verre à glaces, à vitres, à bouteilles, cristal, flint-glass et autres verres d'optique, réduits en

poudre fine et abandonnés au contact de l'air, se décomposent lentement, absorbent peu à peu l'acide carbonique, et font, au bout de peu de temps, une vive effervescence avec les acides; cette action est quelquefois telle qu'on croirait opérer sur de la craie. La même effervescence se produit sur les acides par l'action d'un mélange d'eau et de verre en poudre qu'on a abandonné à l'air pendant quelques jours. L'eau acide contient une grande quantité de soude et de chaux.

Le verre en poudre fine, bouilli avec de l'eau dans laquelle on fait passer un courant d'acide carbonique, absorbe ce gaz en quelques instants et fait une vive effervescence avec les acides.

Les résultats d'expériences que nous avons faites récemment donneront un exemple de la facilité avec laquelle certains verres sont décomposés par l'eau.

Mes essais ont porté sur trois verres de composition chimique notablement différente. L'opération a été conduite de la façon suivante :

5 grammes des échantillons de chacun des verres, après avoir été porphirisés aussi finement que possible, ont été soumis, dans une capsule de platine, à l'action de l'eau bouillante. On a fait en sorte que dans les trois cas l'ébullition fût conduite exactement dans les mêmes conditions, à savoir : évaporation de un litre d'eau en huit heures.

Séparant ensuite le verre de la partie dissoute, on fit l'analyse de la solution aqueuse.

Pour cela, la liqueur filtrée a été évaporée à sec et le résidu calciné au rouge sombre, puis pesé. Le chiffre trouvé ne représente pas le poids des substances réellement enlevées au verre, car pendant l'évaporation une certaine quantité de la silice dissoute est précipitée par l'acide carbonique de l'air. On retrouve cette silice à l'état gélatineux dans le résidu resté sur le filtre.

Cette action de l'acide carbonique empêche la détermination de la quantité réelle de silice dissoute, mais elle n'infirme en aucune façon l'exactitude des chiffres trouvés pour les alcalis enlevés au verre.

Dans le tableau ci-après nous donnons l'analyse des échantillons de verre sur lesquels nous avons opéré, ainsi que le poids des matières qui ont été enlevées par l'eau :

	I.	II.	III.
Silice	66,850	69,90	69,60
Chaux	12,850	11,10	16,10
Peroxyde de fer et alumine	1,600	1,20	1,10
Magnésie	traces	traces	traces
Soude	18,700	17,80	13,20
	100,000	100,00	100,00
Soude enlevée par l'eau à 100 grammes de verre	3,974	2,076	0,986
Alumine, fer, chaux, enlevés à 100 grammes de verre	traces	traces	traces

Nous avons cherché à déterminer la composition du silicate de soude enlevé par l'eau; à cet effet, nous avons dosé la silice gélatineuse qui avait été précipitée par l'acide carbonique.

Nous avons trouvé que dans les trois cas ce silicate avait une composition très voisine d'un silicate tribasique $SiO^3\,3\,NaO$.

Weber a démontré qu'il n'existe pas de relation nettement tranchée entre la composition chimique d'un verre et sa manière de se comporter sous l'action de l'eau.

Cependant il paraît résulter des travaux de cet auteur que les verres les plus résistants à l'action de l'eau, des acides et des alcalis doivent être composés suivant la formule générale

$$6\,SiO^2 : 1\,CaO : 1{,}3 \text{ à } 1{,}5 \text{ alcalis.}$$

Pour la confection de porte-objets et lamelles de microscopes, où on apprécie les verres qui gardent un poli parfait et une transparence irréprochable à l'air, on recommande les compositions suivantes :

Silice	72,34	73,53
Alumine	0,58	0,95
Chaux	13,09	12,96
Soude	13,52	13,56
Potasse	0,47	»
	100,00	100,00

Il est curieux de constater que ces compositions se rapprochent beaucoup de la composition du verre à glaces de Saint-Gobain.

Le verre en poudre, maintenu pendant plusieurs heures en ébullition avec du sulfate de chaux, produit une quantité notable de sulfate de soude.

Cette réaction explique pourquoi les murs et le sol des ateliers dans lesquels on doucit les glaces, se recouvrent toujours d'efflorescences consistant en sulfate de soude. Le plâtre qui sert au scellage des glaces fournit l'acide sulfurique, et le verre, la soude qui composent ce sel.

Tous les verres, réduits en poudre fine, ramènent instantanément au bleu le papier et la dissolution rouge de tournesol ; ils verdissent immédiatement le sirop de violettes ; cette réaction est la conséquence de leur altération instantanée par l'eau.

Le cristal en poudre fine, agité pendant quelques instants avec de l'eau froide mêlée avec une très petite quantité d'acide, donne avec l'hydrogène sulfuré un dépôt noir de sulfure de plomb.

D'après Pelouze, du verre blanc porphyrisé, formé de :

Silice	72
Soude	12,5
Chaux	15,5
	100,0

perd 10 pour 100 de son poids après une ébullition de quelques minutes dans l'eau.

Un verre composé de :

Silice	77,3
Soude	16,3
Chaux	6,4
	100,0

a perdu 34 pour 100 de son poids. Pelouze a obtenu ainsi une dissolution de silicate de soude et un mélange insoluble de silice et de verre non décomposé. Cette altération rapide résulte des points de contact multipliés entre le verre et l'eau.

Daubrée a chauffé sous pression, à une température de 300 degrés, des tubes de verre dans l'eau, ce verre s'est décomposé en une matière fibreuse ayant la composition de la *wollastonite* (silicate de chaux).

En 1780, des verres avaient été fabriqués en Champagne et dans les Vosges. Le verre des Vosges contenait de la silice, de la potasse et de la chaux; le verre de Champagne ne renfermait que de la silice et de l'alcali. Tandis que le premier verre se conservait intact, il n'en était pas de même du second. Les pieds des verres à boire se remplissaient dans les magasins où on les renfermait, d'eau tenant en dissolution du carbonate de potasse provenant de l'action de l'alcali sur les agents atmosphériques.

ACTION DES ACIDES

L'*acide fluorhydrique* décompose rapidement tous les silicates; cette action est quelquefois utilisée dans les analyses, pour le dosage des oxydes combinés avec l'acide silicique.

L'*acide sulfurique* attaque à peu près tous les silicates simples qui renferment moins de 60 pour 100 d'acide; il agit même partiellement sur les silicates qui renferment un plus grand excès d'acide silicique, quand ils ont été porphyrisés.

L'*acide chlorhydrique* exerce une action moins énergique, cependant il attaque partiellement ou complètement, la plupart des silicates simples qui ne contiennent pas une trop forte proportion d'acide silicique.

L'action de l'*acide azotique* est moins forte encore que celle de l'acide chlorhydrique, et plusieurs silicates sont complètement attaqués par ce dernier acide, tandis que le premier ne peut séparer qu'une partie de l'acide silicique. Les acides très faibles, l'acide acétique, l'acide carbonique, etc., sont sans action sur la plupart des silicates métalliques, dans lesquels les oxydes sont entièrement combinés avec l'acide silicique; mais ils agissent sur tous les silicates alcalins et alcalins terreux, avec plus ou moins de lenteur suivant la composition des silicates, suivant les circonstances dans lesquelles les silicates sont placés. Les eaux chargées d'acide carbonique enlèvent progressivement la chaux au silicate, $SiO^3 + 3CaO$, qui forme la partie solide des mortiers employés dans les constructions hydrauliques; elles décomposent bien plus rapidement les silicates alcalins de composition analogue; elles attaquent, au contraire, avec la plus grande lenteur les silicates représentés par la formule $SiO^3 + RO$, et ceux qui contiennent une proportion encore plus forte d'acide silicique.

Action de l'acide fluorhydrique sur le verre. Gravure. — L'acide fluorhydrique est employé pour graver les divisions sur les tiges des thermomètres, sur les burettes et pipettes graduées, pour graver les pierres dures, les poteries, les émaux.

Pour la gravure sur verre on emploie l'acide gazeux ou liquide, selon le but qu'on se propose. Sous le premier état, il donne les traits opaques; sous le second, il en fournit de transparents. S'il s'agit, non de dépolir toute une surface, mais seulement de tracer quelques figures ou dessins, on agit de la manière suivante en employant l'acide gazeux, obtenu avec :

1000 parties d'eau;

250 parties de fluorhydrate de fluorure de calcium cristallisé ;

250 parties d'acide chlorhydrique.

On ajoute encore 140 parties de sulfate de soude pour rendre les fluorures de calcium et de plomb peu solubles dans le bain et obtenir ainsi des dépolis épais et uniformes.

Cela fait, on nettoie le verre, on le sèche, on le chauffe et on y verse un vernis fondu que l'on coule en couche homogène. Ce vernis, composé de quatre parties de cire jaune et une partie de térébenthine ordinaire, est assez translucide pour qu'on puisse calquer un dessin placé au-dessous de la lame de verre. On passe alors un burin sur le vernis en suivant les traits du dessin, et on entame le vernis jusqu'au verre.

Il est nécessaire que, dans tous les endroits où l'acide doit agir, le verre soit mis à nu et parfaitement net une fois le dessin tracé; on expose le verre ainsi préparé à l'action du gaz fluorhydrique produit par la réaction du mélange ci-dessus, le tout étant placé dans une petite caisse en plomb.

Au bout de quelques minutes l'opération est terminée. On enlève le verre, on le chauffe légèrement pour fondre le vernis, on le nettoie avec de l'essence ou de l'alcool.

Quand on emploie l'acide fluorhydrique liquide, on suit la méthode employée pour la gravure à l'eau-forte sur cuivre.

M. Kessler a composé une encre à graver le verre, contenant un fluorhydrate acide d'ammoniaque, puis une autre encre de même nature, mais acidifiée par l'acide acétique pour écrire sur le cristal. L'encre gravant le verre ne grave pas le cristal, et inversement, c'est donc un moyen, entre autres, de distinguer les deux produits. M. Kessler est parvenu à déposer, en quelque sorte mécaniquement, une réserve formée de bitume de Judée, dissous, dans l'essence de térébenthine. Ce procédé consiste à imprimer sur papier, avec une encre composée de :

Bitume de Judée..........	3 parties.	
Stéarine..................	2 —	
Essence de térébenthine...	3 —	plus ou moins suivant sa consistance.

Le dessin que l'on veut réserver sur la pièce à décalquer se dessine sur l'objet à graver, puis on plonge cet objet dans un bain d'acide fluorhydrique; enfin on enlève la réserve à l'aide d'un bain de lessive alcaline ou d'essence.

Pendant la gravure il se forme des fluosilicates alcalins avec le verre, et en outre du fluorure de plomb avec le cristal. Pour empêcher ces composés de s'attacher à la surface vitreuse, et de rendre la gravure inégale, on imprime à

l'objet placé dans le bain un mouvement de rotation, à l'aide d'un mouvement d'horlogerie ou d'une transmission spéciale, qui empêche l'adhérence des sels et permet d'obtenir une gravure transparente.

Quelquefois on rehausse l'effet de cette gravure en teintant en jaune le creux produit, au moyen du chlorure d'argent. Parfois on augmente encore les oppositions des tons, les effets de lumière de cette gravure, en matant les parties saillantes à l'aide d'un appareil spécial, comme cela se pratique à Paris chez M. Gugnon, ou bien à l'aide d'un jet de sable, par un procédé mécanique datant de 1870 et dû à M. Tilghman, de Philadelphie.

On grave encore en mat avec un mélange de fluorures alcalins et d'un acide étranger dissous dans l'eau.

M. Kessler emploie les fluorhydrates d'ammoniaque et de soude et l'acide sulfurique ou l'acide acétique.

D'autres recommandent un mélange de fluorhydrate de potasse et d'acide chlorhydrique saturé de sulfate de potasse ou d'ammoniaque.

Voici une formule qui réussit parfaitement bien. On prépare deux liqueurs composées :

La première en dissolvant dans 500 grammes d'eau 36 grammes de fluorure de sodium et 7 grammes de sulfate de potasse;

La seconde en faisant dissoudre 14 grammes de chlorure de zinc dans 500 grammes d'eau et ajoutant à la solution 65 grammes d'acide chlorhydrique.

Pour l'emploi on mélange ces deux liqueurs à parties égales et on applique sur le verre soit au pinceau, soit à la plume. Après un contact d'une demi-heure, l'inscription est tracée en mat et est indélébile.

La gravure mate, n'ayant pas de profondeur, ne produit tout son effet que lorsqu'elle succède à la gravure brillante, seule employée du reste pour les enlevages de couleur.

Par le procédé Tilghman, on couvre la feuille de verre d'un patron en papier, en cuivre ou en laiton très mince, d'un dessin à jour découpé dans une substance mince élastique quelconque, et l'on y projette un jet de sable lancé violemment. Le sable est entraîné à la partie inférieure conique d'un cylindre par un jet d'air lancé par un ajutage ou tube; l'air s'échappe par un passage annulaire entourant le tube à sable. Avec la pression du soufflet d'une lampe d'émailleur, on peut en quelques minutes dépolir une plaque de verre de 2 à 3 centimètres carrés. Avec une pression de 45 kilogrammes, on a percé, en trois minutes, un trou de $0^m,032$ de diamètre, et de $0^m,008$ de profondeur dans une lime d'acier.

M. Mathewson a fait breveter un appareil reposant sur un principe analogue.

Dans l'application du jet de sable à la taille, à la perforation, au dépolissage du verre, il a été reconnu que, au point de vue économique, il y avait avantage à remplacer l'air par la vapeur, mais dans la pratique, ce procédé présentait de gros inconvénients, à savoir : la difficulté de manier des objets dans un nuage de vapeur, et la fragilité des pièces sous le contact de la vapeur condensée.

Ces inconvénients ont été évités dans l'appareil Mathewson. La vitesse nécessaire est donnée au sable par un jet de vapeur, mais avant que le

courant de vapeur et de sable ait atteint l'objet à travailler, il est rencontré par un contre-courant d'air qui dissipe la vapeur et permet au sable de continuer sa course.

La puissance d'action du sable peut être réglée de manière à graver légèrement le verre ou à le tailler et même à le couper avec une très grande rapidité.

Dans un nouvel appareil représenté figure 48, M. Mathewson supprime l'emploi de la vapeur et donne l'impulsion au sable au moyen d'air comprimé. Cet air arrive dans un cylindre divisé en trois compartiments par trois trémies superposées. La trémie supérieure reçoit le sable et le laisse écouler dans la trémie intermédiaire en communication avec le tuyau à air, dont on peut régler le débit par un volant à main; l'écoulement du sable est réglé par un levier. Le mélange de sable et d'air comprimé sort par un tuyau flexible d'où on le dirige sur les objets à travailler.

L'appareil ci-dessous sert pour le nettoyage des pièces de fer, de fonte ou d'acier; il est employé pour le retaillage des limes, pour dépolir les glaces ou

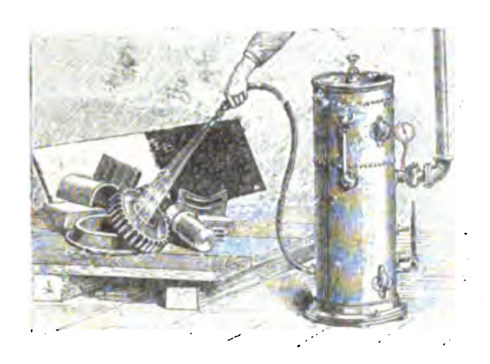


Fig. 48.

tous autres objets en verre, suivant des dessins spéciaux.

On combine aujourd'hui la gravure mécanique avec la photographie, de manière à obtenir le dépolissage photographique. Pour cela, la glace est recouverte de gélatine bichromatée et insolée sous un négatif ou un dessin exécuté sur du papier transparent. On lave à l'eau chaude (75 degrés) jusqu'à ce que la gélatine non insolubilisée soit dissoute, puis on soumet la glace à l'action du jet de sable. Après la gravure, on enlève la gélatine insoluble au moyen d'acide sulfurique concentré.

On peut obtenir ainsi sur verre des gravures délicates, reproduites par la photographie sur gélatine bichromatée.

Gravure du verre par l'électricité. — Un Américain a construit un appareil pour graver sur le verre, basé sur ce principe qu'un fil de platine porté au rouge blanc laisse sur le verre une traînée claire sur un fond de couleur.

L'appareil qu'il emploie se compose d'un tube métallique bourré d'amiante et traversé par deux fils conducteurs dont deux des extrémités sont reliées

aux bornes d'un générateur d'électricité et les deux autres à un fil de platine que le courant portera au rouge blanc et qui laissera sur le verre la trace que nous avons indiquée plus haut. Un autre procédé permet de faire concourir indirectement l'électricité à la gravure du verre.

Si dans une solution d'un sel alcalin on dispose une feuille de verre et que dans ce bain on plonge une lame de métal en relation avec l'un des pôles d'une pile, on pourra, avec une pointe métallique reliée à l'autre pôle de la pile, tracer sur le verre des caractères très nets et indélébiles.

Dans ce cas la gravure est produite par l'action sur le silicate de la base alcaline mise en liberté.

Verre givré. — C'est également par une action mécanique qu'on est arrivé à reproduire les dessins fantaisistes dits « fleurs de glace » qui sont tracés par la gelée sur les vitres des appartements.

La préparation du verre givré est des plus simples. On enduit la surface du verre, préalablement dépoli au sable, d'une matière spéciale formant vernis qui pénètre dans les cavités du verre dépoli. Les feuilles de verre ainsi enduites sont alors mises dans une étuve ou simplement au soleil en été. Sous l'influence de la chaleur, l'enduit se sèche, se contracte fortement et éclate en petites écailles qui enlèvent avec elles une très légère partie de la surface du verre. Ces différentes cassures se faisant dans tous les sens forment un ensemble rappelant exactement l'effet des verres givrés par le froid. Le dessin ainsi obtenu peut être très petit si la couche d'enduit a été mince; il offre des formes d'autant plus grandes, dans une certaine limite cependant, que les couches d'enduit ont été plus nombreuses. Avec cinq ou six couches, on arrive presque à dédoubler du verre à vitres simple.

Ce même procédé peut être employé pour les verres colorés. En se desséchant, l'enduit enlève l'émail coloré dont la couche est uniforme, et l'on trouve dans le verre givré ainsi obtenu des colorations de demi-teintes d'un gracieux effet.

Les verres ainsi givrés sont translucides et non transparents.

L'application de cette invention est tout indiquée dans les vitraux mis en plomb, non d'une façon uniforme, mais en encadrements, petits panneaux, motifs réguliers, en même temps que les différents verres en usage chez les peintres verriers. On peut ainsi obtenir des effets nouveaux et agréables.

En argentant ou dorant ces verres givrés à la face opposée, on obtient l'apparence d'émaux de toutes couleurs, suivant les verres colorés que l'on a employés. On peut ainsi en faire usage pour la décoration des plafonds, des motifs placés dans les corniches, des frises d'encadrement, des chambranles, des cadres de glaces.

Par le même procédé l'effet de cristallisation peut être obtenu sur des globes d'appareils à gaz.

Le prix de ces vitraux est sensiblement le même que celui du verre anglais.

Alcalis et carbonates. — Les silicates simples sont presque tous partiellement attaqués par les dissolutions concentrées des alcalis caustiques et des car

bonates alcalins; l'action de ces liqueurs alcalines sur les silicates bien porphyrisés est comparable, par son énergie, à celle de l'acide azotique peu concentré; elle s'exerce plus aisément sur les silicates qui renferment une forte proportion d'acide silicique réellement combiné avec les oxydes; l'action de l'acide azotique est au contraire plus facile et plus rapide sur les silicates dans lesquels les bases sont en excès relativement à l'acide silicique.

L'action des alcalis et celle des carbonates alcalins sont beaucoup plus énergiques par voie sèche; tous les silicates alcalins-terreux et métalliques sont entièrement décomposés, quand, après les avoir porphyrisés, on les chauffe au rouge en présence de trois parties de potasse ou de soude, ou de quatre parties de carbonates alcalins. La décomposition se fait avec plus ou moins de rapidité suivant la nature du silicate, suivant le soin qu'on apporte à maintenir le silicate en suspension dans le réactif alcalin fondu.

En traitant par l'eau la matière, concassée en sable après son refroidissement, on dissout une partie de l'acide silicique à l'état de silicate alcalin; les bases restent généralement insolubles à l'état d'oxydes ou de carbonates. La partie insoluble retient toujours une quantité très appréciable de silice, même quand elle a été lavée avec le plus grand soin.

Les expériences de F. Fœrster et d'autres chercheurs, relatives à l'action des alcalis et des solutions salines sur le verre, ont mis en lumière les faits suivants :

1° Les solutions d'alcalis caustiques agissent plus énergiquement que l'eau sur le verre, car (si on laisse de côté les solutions très diluées) elles dissolvent toutes les parties constituantes du verre.

2° La soude est de tous les alcalis caustiques celui dont l'action dissolvante est le plus énergique; après elle vient la lessive potassique, puis l'ammoniaque et l'eau de baryte.

3° L'élévation de la température favorise beaucoup l'attaque du verre par les alcalis.

4° L'attaque du verre par les solutions alcalines augmente d'abord rapidement, à haute température, avec leur degré de concentration, mais l'action devient ensuite plus lente.

5° A la température ordinaire, les solutions alcalines très concentrées attaquent moins énergiquement le verre que les solutions diluées.

6° Les solutions alcalines pures moyennement concentrées ont moins d'action sur le verre que les solutions rendues impures par la présence de faibles quantités de silice.

7° Les carbonates alcalins attaquent beaucoup plus rapidement le verre que l'eau, même en solution très concentrée. Leur mode d'action rappelle moins celui des alcalis caustiques. A égale concentration, les solutions de carbonate de soude agissent plus énergiquement que celles de soude caustique.

8° L'action des solutions salines sur le verre est, suivant leur concentration et la nature du sel dissous, variable par rapport à celle de l'eau et à celle du sel présent.

9° Les deux modes d'action sont différemment influencés par la composition du verre.

10° Parmi les sels, les plus actifs (ceux dont l'action est supérieure à celle de l'eau) sont ceux dont l'acide forme des sels de chaux insolubles. Pour ceux-ci, l'action augmente avec la concentration.

Silicates à plusieurs bases.—Les silicates multiples peuvent être considérés, au point de vue théorique, de plusieurs manières différentes. On peut admettre que l'acide silicique est un acide polybasique, et qu'il forme des combinaisons définies, dans lesquelles peuvent entrer des proportions indéterminées de plusieurs oxydes, le rapport de la somme du poids de l'oxygène que renferment les bases à l'oxygène contenu dans l'acide étant seul assujetti à des règles fixes; cette explication s'applique à tous les silicates à plusieurs bases, dont la composition est représentée par des formules assez simples. On peut admettre aussi que les silicates, de composition définie, se mélangeant irrégulièrement, produisent des substances complexes, dont la composition paraît anormale tant qu'on ne parvient pas à distinguer la nature des mélanges.

Lorsque les silicates en fusion sont placés dans des circonstances telles que leur refroidissement se fasse avec une grande lenteur, il se produit des cristaux souvent très nets, dont la formation indique qu'il se sépare de la masse fondue des composés parfaitement définis; mais ces cristaux, en prenant naissance au sein d'un liquide complexe, englobent nécessairement une partie des composés encore liquides, en sorte que leur analyse ne peut pas ordinairement donner la composition du silicate qui s'est séparé par cristallisation.

Fusibilité. — Les silicates à deux ou à plusieurs bases sont en général fusibles à une température élevée, à moins qu'ils ne renferment un trop grand excès d'acide silicique ou d'oxydes infusibles. Ils entrent même plus facilement en fusion que les silicates simples, de composition correspondante, que peuvent former les divers oxydes. Les bases qui sont les plus fondantes sont toujours les alcalis, l'oxyde de plomb, l'oxyde de bismuth, les protoxydes de fer, de manganèse, de cobalt, l'oxydule de cuivre. Tous les silicates multiples qui en renferment une certaine proportion entrent facilement en fusion, à moins qu'ils ne contiennent, à l'état de mélange, une quantité considérable d'oxydes infusibles non combinés avec l'acide silicique.

Les silicates doubles ou multiples, qui sont formés par des bases infusibles par elles-mêmes, et incapables de donner des sels simples fusibles, peuvent en général fondre complètement à une température élevée, pourvu que la proportion de l'acide et des bases soit comprise entre certaines limites. Ainsi, par exemple, les silicates simples de chaux, de magnésie, d'alumine, de peroxyde de fer, sont à peine ramollissables, ou du moins très difficilement fusibles aux températures les plus élevées qu'on puisse produire dans les fourneaux des laboratoires et des usines; les silicates doubles d'alumine et de chaux, d'alumine et de magnésie, de peroxyde de fer, de chaux ou de magnésie, de chaux et de magnésie, fondent parfaitement dans les hauts fourneaux, dans les réverbères et dans les fours employés aux laboratoires pour les essais de fer. Les silicates triples d'alumine, de chaux et de magnésie, fondent plus aisément encore que les silicates doubles; il faut observer que dans ces composés un excès

d'alumine enlève beaucoup de la fusibilité; il serait impossible d'obtenir la fusion parfaite des silicates de chaux ou de magnésie et d'alumine contenant 30 pour 100 de cette dernière base.

On ne parvient à dissoudre complètement dans l'eau aucun silicate multiple renfermant d'autres bases que les alcalis; l'eau n'exerce aucune action remarquable sur les silicates qui ne contiennent pas d'oxyde soluble, mais l'eau décompose lentement ou rapidement tous les silicates qui renferment des alcalis.

Tous les silicates dans lesquels l'acide silicique est combiné avec une proportion un peu forte d'oxydes sont rapidement décomposés par l'acide azotique, et plus facilement encore par l'acide chlorhydrique. Les silicates inattaquables sont ceux dans lesquels l'acide silicique est en excès: de là on est conduit à chauffer fortement les silicates peu attaquables aux acides avec une certaine quantité d'une base énergique, dans le but de combiner l'acide silicique avec une proportion plus grande d'oxydes, telle que les nouveaux composés puissent être attaqués facilement par les acides.

Les oxydes ordinairement employés dans ce but sont: la potasse, la soude, la baryte, la chaux, l'oxyde de plomb; on se sert aussi des carbonates alcalins, du carbonate de baryte, du carbonate de chaux, du carbonate de plomb.

ACTION DE LA CHALEUR

On a depuis longtemps constaté que si l'on associe deux silicates et qu'on soumette ce mélange à l'action de la chaleur, la fusion se produit à une température inférieure à celle qui correspond à la fusion du silicate le plus fusible.

Les silicates se comportent donc comme les mélanges de sels, et on trouve là encore une confirmation de la loi de Berthier, savoir qu'un mélange de sels est généralement plus fusible que les sels qui le composent.

Cette constatation a son importance, et elle explique la tendance qu'ont les verriers à donner à leurs produits une nature complexe; la fusion étant plus facilement obtenue, il en résulte une moindre dépense de combustible; comme, d'autre part, on constate que la présence de bases multiples contribue à donner au verre une stabilité plus grande et permet de le travailler avec plus de facilité, cette pratique ne peut être trop recommandé dans tous les cas où la nature du verre à fabriquer le permet.

Larmes bataviques. Trempe du verre. — Le verre est mauvais conducteur de la chaleur: refroidi brusquement, il se brise, de là la nécessité de recuire toutes les pièces après leur fabrication. Le verre, soumis à l'action de la chaleur, se ramollit et passe par tous les degrés de plasticité possibles avant d'arriver à la fusion complète.

Le verre conduit mal la chaleur et l'électricité. Lorsqu'on le chauffe en un seul point, il se brise en éclats irréguliers: c'est ce qui a lieu quand on verse un liquide chaud dans un vase de verre à parois épaisses; mais si le verre est mince, il s'échauffe rapidement dans toute sa masse, et la dilatation se produit assez également pour que la rupture n'ait pas lieu. Dans les laboratoires on se

10° Parmi les sels, les plus actifs (ceux dont l'action est supérieure à celle de l'eau) sont ceux dont l'acide forme des sels de chaux insolubles. Pour ceux-ci, l'action augmente avec la concentration.

Silicates à plusieurs bases.—Les silicates multiples peuvent être considérés, au point de vue théorique, de plusieurs manières différentes. On peut admettre que l'acide silicique est un acide polybasique, et qu'il forme des combinaisons définies, dans lesquelles peuvent entrer des proportions indéterminées de plusieurs oxydes, le rapport de la somme du poids de l'oxygène que renferment les bases à l'oxygène contenu dans l'acide étant seul assujetti à des règles fixes; cette explication s'applique à tous les silicates à plusieurs bases, dont la composition est représentée par des formules assez simples. On peut admettre aussi que les silicates, de composition définie, se mélangeant irrégulièrement, produisent des substances complexes, dont la composition paraît anormale tant qu'on ne parvient pas à distinguer la nature des mélanges.

Lorsque les silicates en fusion sont placés dans des circonstances telles que leur refroidissement se fasse avec une grande lenteur, il se produit des cristaux souvent très nets, dont la formation indique qu'il se sépare de la masse fondue des composés parfaitement définis; mais ces cristaux, en prenant naissance au sein d'un liquide complexe, englobent nécessairement une partie des composés encore liquides, en sorte que leur analyse ne peut pas ordinairement donner la composition du silicate qui s'est séparé par cristallisation.

Fusibilité. — Les silicates à deux ou à plusieurs bases sont en général fusibles à une température élevée, à moins qu'ils ne renferment un trop grand excès d'acide silicique ou d'oxydes infusibles. Ils entrent même plus facilement en fusion que les silicates simples, de composition correspondante, que peuvent former les divers oxydes. Les bases qui sont les plus fondantes sont toujours les alcalis, l'oxyde de plomb, l'oxyde de bismuth, les protoxydes de fer, de manganèse, de cobalt, l'oxydule de cuivre. Tous les silicates multiples qui en renferment une certaine proportion entrent facilement en fusion, à moins qu'ils ne contiennent, à l'état de mélange, une quantité considérable d'oxydes infusibles non combinés avec l'acide silicique.

Les silicates doubles ou multiples, qui sont formés par des bases infusibles par elles-mêmes, et incapables de donner des sels simples fusibles, peuvent en général fondre complètement à une température élevée, pourvu que la proportion de l'acide et des bases soit comprise entre certaines limites. Ainsi, par exemple, les silicates simples de chaux, de magnésie, d'alumine, de peroxyde de fer, sont à peine ramollissables, ou du moins très difficilement fusibles aux températures les plus élevées qu'on puisse produire dans les fourneaux des laboratoires et des usines; les silicates doubles d'alumine et de chaux, d'alumine et de magnésie, de peroxyde de fer, de chaux ou de magnésie, de chaux et de magnésie, fondent parfaitement dans les hauts fourneaux, dans les réverbères et dans les fours employés aux laboratoires pour les essais de fer. Les silicates triples d'alumine, de chaux et de magnésie, fondent plus aisément encore que les silicates doubles; il faut observer que dans ces composés un excès

d'alumine enlève beaucoup de la fusibilité; il serait impossible d'obtenir la fusion parfaite des silicates de chaux ou de magnésie et d'alumine contenant 30 pour 100 de cette dernière base.

On ne parvient à dissoudre complètement dans l'eau aucun silicate multiple renfermant d'autres bases que les alcalis; l'eau n'exerce aucune action remarquable sur les silicates qui ne contiennent pas d'oxyde soluble, mais l'eau décompose lentement ou rapidement tous les silicates qui renferment des alcalis.

Tous les silicates dans lesquels l'acide silicique est combiné avec une proportion un peu forte d'oxydes sont rapidement décomposés par l'acide azotique, et plus facilement encore par l'acide chlorhydrique. Les silicates inattaquables sont ceux dans lesquels l'acide silicique est en excès: de là on est conduit à chauffer fortement les silicates peu attaquables aux acides avec une certaine quantité d'une base énergique, dans le but de combiner l'acide silicique avec une proportion plus grande d'oxydes, telle que les nouveaux composés puissent être attaqués facilement par les acides.

Les oxydes ordinairement employés dans ce but sont : la potasse, la soude, la baryte, la chaux, l'oxyde de plomb; on se sert aussi des carbonates alcalins, du carbonate de baryte, du carbonate de chaux, du carbonate de plomb.

ACTION DE LA CHALEUR

On a depuis longtemps constaté que si l'on associe deux silicates et qu'on soumette ce mélange à l'action de la chaleur, la fusion se produit à une température inférieure à celle qui correspond à la fusion du silicate le plus fusible.

Les silicates se comportent donc comme les mélanges de sels, et on trouve là encore une confirmation de la loi de Berthier, savoir qu'un mélange de sels est généralement plus fusible que les sels qui le composent.

Cette constatation a son importance, et elle explique la tendance qu'ont les verriers à donner à leurs produits une nature complexe; la fusion étant plus facilement obtenue, il en résulte une moindre dépense de combustible; comme, d'autre part, on constate que la présence de bases multiples contribue à donner au verre une stabilité plus grande et permet de le travailler avec plus de facilité, cette pratique ne peut être trop recommandé dans tous les cas où la nature du verre à fabriquer le permet.

Larmes bataviques. Trempe du verre. — Le verre est mauvais conducteur de la chaleur: refroidi brusquement, il se brise, de là la nécessité de recuire toutes les pièces après leur fabrication. Le verre, soumis à l'action de la chaleur, se ramollit et passe par tous les degrés de plasticité possibles avant d'arriver à la fusion complète.

Le verre conduit mal la chaleur et l'électricité. Lorsqu'on le chauffe en un seul point, il se brise en éclats irréguliers : c'est ce qui a lieu quand on verse un liquide chaud dans un vase de verre à parois épaisses; mais si le verre est mince, il s'échauffe ra[illegible] toute sa masse, et la dilatation se produit assez également pour [illegible] n'ait pas lieu. Dans les laboratoires on se

10° Parmi les sels, les plus actifs (ceux dont l'action est supérieure à celle de l'eau) sont ceux dont l'acide forme des sels de chaux insolubles. Pour ceux-ci, l'action augmente avec la concentration.

Silicates à plusieurs bases.—Les silicates multiples peuvent être considérés, au point de vue théorique, de plusieurs manières différentes. On peut admettre que l'acide silicique est un acide polybasique, et qu'il forme des combinaisons définies, dans lesquelles peuvent entrer des proportions indéterminées de plusieurs oxydes, le rapport de la somme du poids de l'oxygène que renferment les bases à l'oxygène contenu dans l'acide étant seul assujetti à des règles fixes; cette explication s'applique à tous les silicates à plusieurs bases, dont la composition est représentée par des formules assez simples. On peut admettre aussi que les silicates, de composition définie, se mélangeant irrégulièrement, produisent des substances complexes, dont la composition paraît anormale tant qu'on ne parvient pas à distinguer la nature des mélanges.

Lorsque les silicates en fusion sont placés dans des circonstances telles que leur refroidissement se fasse avec une grande lenteur, il se produit des cristaux souvent très nets, dont la formation indique qu'il se sépare de la masse fondue des composés parfaitement définis; mais ces cristaux, en prenant naissance au sein d'un liquide complexe, englobent nécessairement une partie des composés encore liquides, en sorte que leur analyse ne peut pas ordinairement donner la composition du silicate qui s'est séparé par cristallisation.

Fusibilité. — Les silicates à deux ou à plusieurs bases sont en général fusibles à une température élevée, à moins qu'ils ne renferment un trop grand excès d'acide silicique ou d'oxydes infusibles. Ils entrent même plus facilement en fusion que les silicates simples, de composition correspondante, que peuvent former les divers oxydes. Les bases qui sont les plus fondantes sont toujours les alcalis, l'oxyde de plomb, l'oxyde de bismuth, les protoxydes de fer, de manganèse, de cobalt, l'oxydule de cuivre. Tous les silicates multiples qui en renferment une certaine proportion entrent facilement en fusion, à moins qu'ils ne contiennent, à l'état de mélange, une quantité considérable d'oxydes infusibles non combinés avec l'acide silicique.

Les silicates doubles ou multiples, qui sont formés par des bases infusibles par elles-mêmes, et incapables de donner des sels simples fusibles, peuvent en général fondre complètement à une température élevée, pourvu que la proportion de l'acide et des bases soit comprise entre certaines limites. Ainsi, par exemple, les silicates simples de chaux, de magnésie, d'alumine, de peroxyde de fer, sont à peine ramollissables, ou du moins très difficilement fusibles aux températures les plus élevées qu'on puisse produire dans les fourneaux des laboratoires et des usines; les silicates doubles d'alumine et de chaux, d'alumine et de magnésie, de peroxyde de fer, de chaux ou de magnésie, de chaux et de magnésie, fondent parfaitement dans les hauts fourneaux, dans les réverbères et dans les fours employés aux laboratoires pour les essais de fer. Les silicates triples d'alumine, de chaux et de magnésie, fondent plus aisément encore que les silicates doubles; il faut observer que dans ces composés un excès

d'alumine enlève beaucoup de la fusibilité; il serait impossible d'obtenir la fusion parfaite des silicates de chaux ou de magnésie et d'alumine contenant 30 pour 100 de cette dernière base.

On ne parvient à dissoudre complètement dans l'eau aucun silicate multiple renfermant d'autres bases que les alcalis; l'eau n'exerce aucune action remarquable sur les silicates qui ne contiennent pas d'oxyde soluble, mais l'eau décompose lentement ou rapidement tous les silicates qui renferment des alcalis.

Tous les silicates dans lesquels l'acide silicique est combiné avec une proportion un peu forte d'oxydes sont rapidement décomposés par l'acide azotique, et plus facilement encore par l'acide chlorhydrique. Les silicates inattaquables sont ceux dans lesquels l'acide silicique est en excès: de là on est conduit à chauffer fortement les silicates peu attaquables aux acides avec une certaine quantité d'une base énergique, dans le but de combiner l'acide silicique avec une proportion plus grande d'oxydes, telle que les nouveaux composés puissent être attaqués facilement par les acides.

Les oxydes ordinairement employés dans ce but sont: la potasse, la soude, la baryte, la chaux, l'oxyde de plomb; on se sert aussi des carbonates alcalins, du carbonate de baryte, du carbonate de chaux, du carbonate de plomb.

ACTION DE LA CHALEUR

On a depuis longtemps constaté que si l'on associe deux silicates et qu'on soumette ce mélange à l'action de la chaleur, la fusion se produit à une température inférieure à celle qui correspond à la fusion du silicate le plus fusible.

Les silicates se comportent donc comme les mélanges de sels, et on trouve là encore une confirmation de la loi de Berthier, savoir qu'un mélange de sels est généralement plus fusible que les sels qui le composent.

Cette constatation a son importance, et elle explique la tendance qu'ont les verriers à donner à leurs produits une nature complexe; la fusion étant plus facilement obtenue, il en résulte une moindre dépense de combustible; comme, d'autre part, on constate que la présence de bases multiples contribue à donner au verre une stabilité plus grande et permet de le travailler avec plus de facilité, cette pratique ne peut être trop recommandé dans tous les cas où la nature du verre à fabriquer le permet.

Larmes bataviques. Trempe du verre. — Le verre est mauvais conducteur de la chaleur: refroidi brusquement, il se brise, de là la nécessité de recuire toutes les pièces après leur fabrication. Le verre, soumis à l'action de la chaleur, se ramollit et passe par tous les degrés de plasticité possibles avant d'arriver à la fusion complète.

Le verre conduit mal la chaleur et l'électricité. Lorsqu'on le chauffe en un seul point, il se brise en éclats irréguliers: c'est ce qui a lieu quand on verse un liquide chaud dans un vase de verre à parois épaisses; mais si le verre est mince, il s'échauffe rapidement dans toute sa masse, et la dilatation se produit assez également pour que la rupture n'ait pas lieu. Dans les laboratoires on se

sert de la mauvaise conductibilité du verre pour le couper. On entaille légèrement avec une lime la surface du verre sur laquelle on applique une goutte de verre fondu ou un charbon incandescent, le verre se sépare suivant la forme de l'entaille.

S'il s'agit de couper un tube, le goulot d'un flacon ou quelque autre corps rond en verre, on peut prendre une pierre à fusil qui ait un angle pointu et marquer au pourtour une ligne circulaire à l'endroit où l'on désire couper l'objet. On prend ensuite un long fil soufré dont on fait deux ou trois tours sur la ligne circulaire qu'on a tracée. On met le feu au fil et on laisse brûler. Lorsque le verre est bien chauffé, on verse de l'eau froide sur la partie chaude, aussitôt la pièce se détache net comme si on l'avait coupée avec des ciseaux. C'est ainsi qu'on parvient à couper des verres en forme de rubans.

On arrive au même résultat et avec plus de succès encore en enroulant autour de l'objet à couper un fil métallique que l'on échauffe progressivement au moyen d'un courant électrique. La projection brusque d'eau froide sur le verre chauffé amène une cassure parfaitement nette.

Nous avons ainsi coupé des tuyaux de verre ayant 50 et même 60 centimètres de diamètre.

Avec certains crayons combustibles dont on place la partie allumée sur le verre, on donne à la fissure qui se produit la direction voulue, c'est ainsi qu'on découpe souvent des feuilles de verre que l'on change en spirales douées d'élasticité. Le verre soumis à un choc se brise, mais sa cassure est tout à fait particulière et spéciale. Quelquefois le verre se sépare en fragments terminés par des surfaces arrondies : c'est ce que l'on appelle la cassure *conchoïde;* d'autres fois la rupture a lieu suivant plusieurs directions formant ainsi des esquilles plus ou moins aiguës, c'est ce que l'on nomme la *cassure en aiguilles*. Le recuit est d'autant plus difficile à obtenir que les pièces sont plus épaisses et plus volumineuses. Lorsqu'une pièce de verre un peu épaisse se solidifie, les parties extérieures sont déjà solidifiées, quand la partie intime est encore molle; de là un équilibre instable qui se rompt sur le moindre choc, et la pièce vole en éclats; les *fioles d'épreuve*, les *larmes bataviques* sont des exemples de ce fait.

Le verre brusquement refroidi, c'est-à-dire *trempé*, reste dans un état de dilatation plus grand que si le refroidissement s'était opéré avec lenteur. Une lame de verre à faces parallèles étant chaude, se courbe et devient convexe du côté de la surface soumise à un refroidissement brusque.

D'autre part, en brisant l'extrémité de la queue d'une larme, on produit dans le verre des vibrations dont il est impossible de mesurer l'effet. M. de Luynes, dans un travail qui date de 1873, cite ses expériences et a substitué à ce moyen mécanique violent, qui consiste à briser la pointe d'une larme, l'emploi de l'acide fluorhydrique qui permet de détruire à volonté et sans secousse la partie de la larme qu'on veut attaquer. Voici, du reste, comment M. de Luynes rend compte de ses expériences intéressantes (1) :

(1) Ce mémoire a été publié dans les *Annales de physique et de chimie*, éditées par M. G. Masson



« Je suspends, à l'aide d'un fil et par le gros bout, une larme au-dessus d'un vase de platine plein d'acide fluorhydrique, de manière que l'extrémité de la queue plonge dans l'acide. La queue est rongée par l'acide, et, à mesure qu'elle se dissout, je descends le fil de telle sorte qu'une nouvelle portion de la queue soit immergée dans le liquide. En continuant ainsi, j'ai vu qu'il était possible de dissoudre entièrement la queue des larmes bataviques, sans en déterminer l'explosion; mais lorsqu'on arrive au col de la larme, c'est-à-dire au point de divergence de la poire, l'équilibre est toujours rompu. Le plus généralement la larme se sépare en une infinité de fragments qui tombent dans l'acide sans produire d'explosion; pour les grosses larmes ou les larmes très fortement trempées, la désagrégation est quelquefois accompagnée de bruit, comme dans le cas d'une rupture brusque.

» Réciproquement, je plonge une larme dans l'acide fluorhydrique, par la partie renflée, de manière à maintenir en dehors de l'acide la queue tout entière et la partie du col dont la dissolution produit la rupture de la larme. L'acide ronge peu à peu les différentes couches du verre, et, au bout d'un temps suffisant, la larme est complètement dissoute, sans qu'il se soit produit d'explosion, et la queue reste tout entière intacte avec l'origine du col (fig. 49).

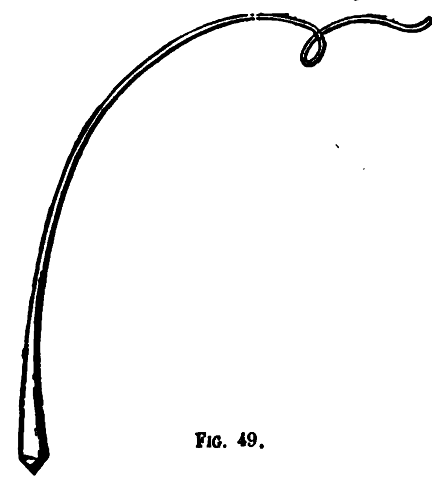


Fig. 49.

» Ces deux expériences prouvent d'abord que *la stabilité de la larme dépend surtout de l'existence des parties de verre qui constituent l'origine du col*, et, en second lieu, qu'en respectant ces parties, on peut enlever successivement toutes les couches extérieures de la larme sans que la rupture ait lieu, ce qui semble bien annoncer que l'*existence de ces couches n'est pas nécessaire au maintien de l'équilibre.*

» Or, pour obtenir une larme batavique, on prend à l'extrémité d'une canne du verre très chaud ou très liquide, et l'on en laisse tomber brusquement une goutte dans l'eau froide; les couches extérieures se solidifient immédiatement, par suite du refroidissement subit qu'elles éprouvent, tandis que l'intérieur reste rouge et met un certain temps à se refroidir, à cause de la mauvaise conductibilité du verre pour la chaleur; la *larme peut donc être considérée comme formée par la superposition de couches de verre inégalement trempées, et, par suite, inégalement dilatées.*

» Les couches extérieures plus fortement trempées sont les plus dilatées, et les couches qui viennent ensuite le sont de moins en moins, à mesure qu'on approche des parties centrales de la larme. Les couches extérieures soudées les unes aux autres et maintenues par la résistance des couches intérieures ne peuvent céder à la force de ressort qui les sollicite que si, par une cause quelconque, elles sont rendues toutes ensemble libres de revenir à leur position première. Or il résute de la forme de la larme que toutes ces couches inégalement tendues viennent se réunir à l'origine du col, de sorte qu'en détruisant le col ce point commun de résistance disparaît et, comme elles sont sollicitées à se déplacer suivant les mêmes directions, leurs actions de ressort s'ajoutent et déterminent la rupture de la larme. En un mot, *on peut comparer la larme à une série de poires de caoutchouc superposées, gonflées sous pression et soudées, se réunissant toutes par leurs cols qui seraient assujettis par une seule ligature.* Il est clair qu'*en détruisant la partie commune à tous les cols, l'équilibre du système serait détruit,* tandis qu'on pourrait couper successivement chaque poire sans détruire le tout, les poires intérieures maintenant l'équilibre du système. »

On s'expliquerait ainsi pourquoi la dissolution du col d'une larme la détruit, et pourquoi elle se maintient au contraire quand on enlève successivement les couches supérieures, les couches intérieures formant un système stable semblable au premier.

Mais, si cette hypothèse est exacte, il en résulterait qu'on peut faire éclater en la coupant par le gros bout, de manière à rendre libres toutes ensemble, mais à l'autre extrémité, les couches de verre inégalement trempées, et c'est, en effet, ce qui a lieu et ce qui peut se réaliser de deux manières :

1° On use sur le plateau d'un tour l'extrémité renflée d'une larme; on peut en enlever ainsi une plus ou moins grande longueur, mais à un certain moment, sans doute quand on a attaqué un nombre suffisant de couches actives, la rupture a lieu;

2° On scie, à l'aide de l'émeri et d'un fil de fer, une larme vers la grosse extrémité; on peut la fendre jusqu'à la moitié environ sans la briser, mais si l'on va plus loin la rupture a lieu.

En dissolvant une larme dans l'acide fluorhydrique et en préservant l'origine du col, on arrive à enlever toutes les couches extérieures, et le noyau qu'on obtient ne se brise plus lorsqu'on casse le bout de la larme; on peut même l'écraser sous un marteau : il se sépare sans bruit comme du verre non trempé, en fragments irréguliers. Si l'acide n'a pas enlevé une épaisseur de verre assez grande, à partir de la surface, les propriétés de la larme persistent, mais avec une intensité qui décroît à mesure que l'épaisseur de la couche extérieure enlevée augmente.

Les faits précédents s'expliquent par l'*existence de couches extérieures inégalement trempées, et ils montrent que ces couches seules contribuent à l'effet de rupture.*

Si les tensions inégales des couches superposées déterminent la rupture par leurs effets de ressort, lorsqu'on les rend libres de se détendre, les molécules de verre de chaque couche doivent se déplacer en sens inverse suivant que la

rupture a lieu du côté de la queue ou du gros bout, et il doit en résulter une différence dans l'arrangement de ces molécules après la rupture. En effet, en considérant une section plane transversale de la larme, les parties centrales qui appartiennent aux couches qui ne sont pas ou qui sont peu trempées ne doivent pas se déplacer, tandis que les molécules situées sur les bords de la section doivent se déplacer d'autant plus que les couches dont elles font partie sont plus tendues. La section plane après la rupture aura donc l'apparence de la surface d'un cône tronqué, et le sommet de ce cône sera dirigé du côté de la queue ou du gros bout, suivant que les couches trempées auront été mises en liberté du côté de la queue ou du gros bout.

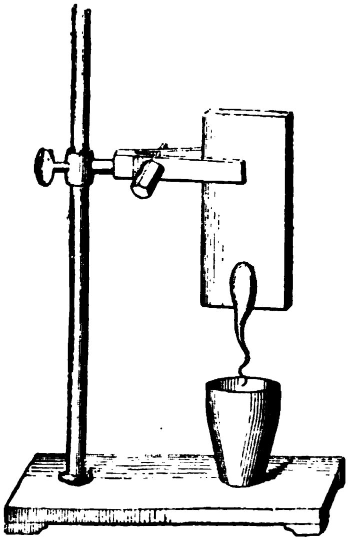


Fig. 50 (*b*).

Pour vérifier ces conséquences, j'encastre à moitié les larmes dans du plâtre en laissant dépasser la queue, de sorte qu'une partie de la larme soit seulement plongée dans le plâtre (un peu plus de la moitié de leur épaisseur); j'attaque la queue par l'acide fluorhydrique, ou je coupe le gros bout à la scie. Après la rupture, les fragments maintenus par le plâtre restent juxtaposés.

Quand ce plâtre est frais, on peut l'enlever avec un peu de soin et la larme s'offre dans l'état représenté par la figure 51.

En séparant délicatement l'ensemble de la larme en plusieurs fragments, on voit nettement qu'elle se compose alors de petits chapeaux coniques, tronqués, emboîtés les uns dans les autres.

La figure 52 montre une larme dont la queue a été rongée à l'acide; les sommets du cône sont dirigés vers la queue.

La figure 53 représente une larme sciée par le gros bout en *a*, et les sommets sont dirigés en sens inverse du précédent.

Enfin, dans la figure 54, on voit une larme sciée par le milieu et qui offre de chaque côté du trait de scie *a* la disposition conique, mais avec des directions contraires.

On peut, du reste, vérifier le mode de cassure sans séparer les fragments de verre agglomérés; car ces derniers forment des espèces d'écailles soulevées dans un sens ou dans l'autre suivant la position du plan de rupture, de sorte qu'en promenant le doigt sur la surface de la larme brisée le doigt glisse ou est arrêté, suivant le sens de soulèvement de ces écailles.

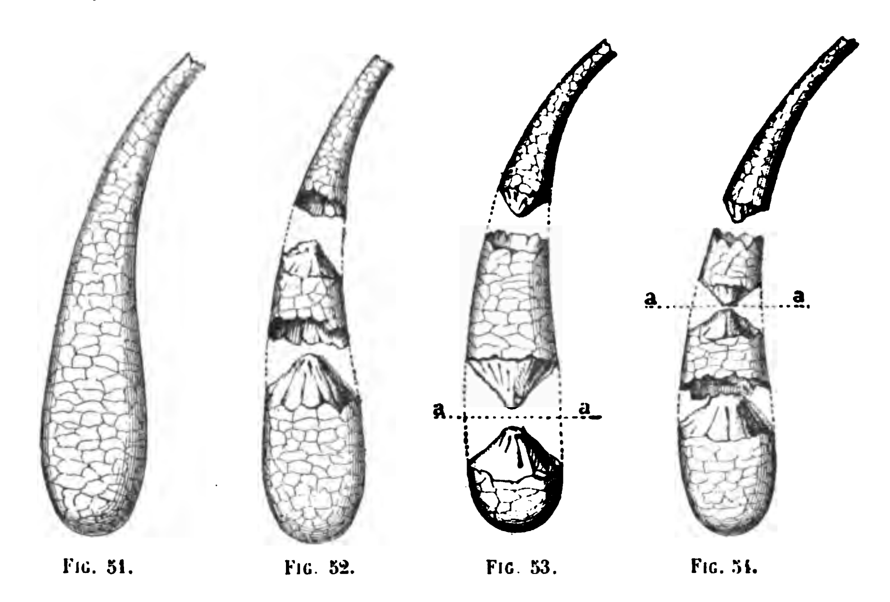


FIG. 51. FIG. 52. FIG. 53. FIG. 54.

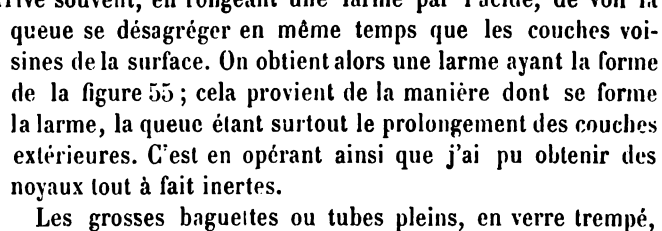
Il est presque inutile d'ajouter que le retrait des molécules ne se produit pas seulement suivant la longueur de la larme, mais dans tous les sens; c'est à cause de cela que le verre se sépare en une multitude de fines aiguilles dont le groupement prend la forme dont je viens de parler.

D'autres faits viennent confirmer le mode de structure que j'attribue aux larmes bataviques.

Ainsi il m'est arrivé souvent, en rongeant une larme par l'acide, de voir la queue se désagréger en même temps que les couches voisines de la surface. On obtient alors une larme ayant la forme de la figure 55; cela provient de la manière dont se forme la larme, la queue étant surtout le prolongement des couches extérieures. C'est en opérant ainsi que j'ai pu obtenir des noyaux tout à fait inertes.



FIG. 55.



Les grosses baguettes ou tubes pleins, en verre trempé, présentent des phénomènes semblables à ceux qui sont offerts par les larmes bataviques.

En les chauffant par un bout, ils se brisent souvent dans toute leur longueur en présentant la cassure conique en aiguilles. La figure 56 indique la disposition. Les constructeurs d'instruments en verre ont souvent observé ce fait.

Si l'on coule dans l'eau des fils de verre plus ou moins gros en opérant

comme pour faire des larmes, ils se solidifient en spirales quelquefois très longues et toujours fortement tordues (fig. 57); ces fils, qui demandent à être maniés avec précaution s'ils sont gros, possèdent une tension très forte, prove-

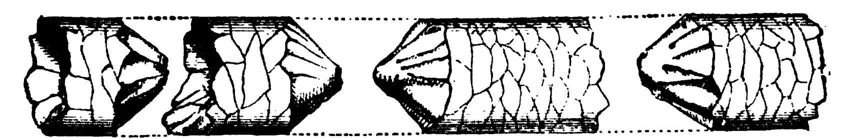


FIG. 56.

nant de la trempe des couches superficielles, de sorte qu'en rongeant ces spirales ou ces tubes tordus sur une partie de leur épaisseur, ils font explosion comme les larmes.

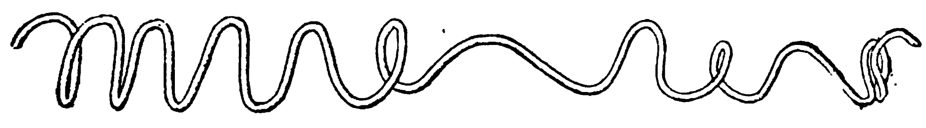


FIG. 57.

En encastrant ces tubes dans du plâtre et les sciant par le milieu, on observe à droite et à gauche du trait de scie la disposition conique en écailles de sens inverse.

La figure 58 représente l'un de ces tubes, scié en *a*.

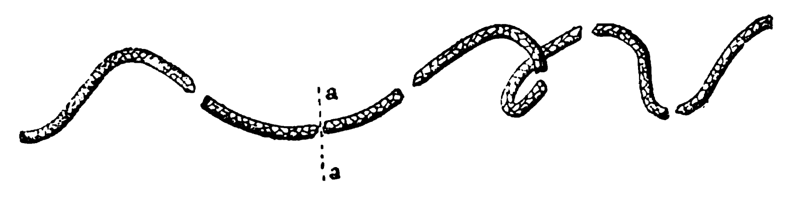


FIG. 58.

La figure 56 représente l'échantillon qui a été dessiné en opposant deux fragments pour mieux faire comprendre ce qui se passe dans le cas que je viens d'indiquer.

Quand les fils trempés sont très fins, ils sont alors très fortement tordus et il suffit souvent d'en tremper une extrémité dans l'acide fluorhydrique pour que l'explosion ait lieu instantanément au contact de l'acide.

Lorsqu'on étire des masses de verre à la canne pour en faire des tubes ou des baguettes, il reste à l'extrémité des cannes de grosses poires en verre ayant la forme de larmes volumineuses et dont le poids peut atteindre 1 kilogramme environ. Séparées de la canne, ces larmes se brisent en se refroidissant, comme

des larmes sciées par le gros bout, en présentant la cassure conique, les sommets dirigés vers le gros bout.

La figure 59 représente une de ces masses de verre qui provient de l'usine de MM. Appert frères, à Clichy.

Un des fragments de cette larme a offert un phénomène curieux. Rapporté de Clichy au laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers, il s'était divisé en route en plusieurs fragments.

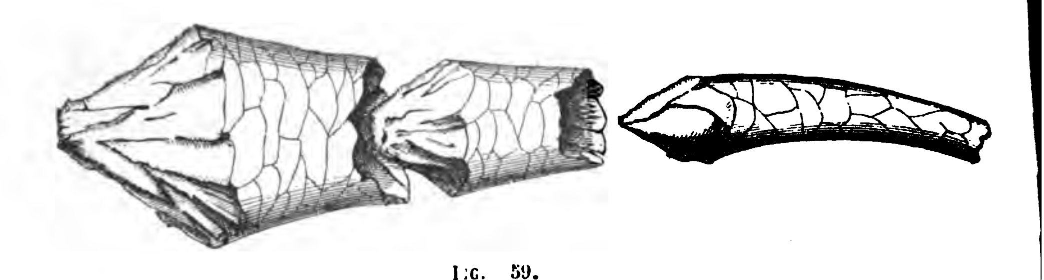


FIG. 59.

L'un de ces fragments, du poids de 100 à 150 grammes, pressé entre les doigts, s'échauffa subitement; la température pouvait s'être élevée à 40 ou 50 degrés, ce qui confirme les faits avancés par M. Léon Dufour relativement au dégagement de chaleur produit au moment de la rupture, qui a lieu aussi, comme on le sait, avec dégagement de lumière.

J'ai rongé des larmes bataviques par l'acide en arrêtant l'expérience de temps en temps, et j'ai déterminé la densité des noyaux successivement obtenus. La

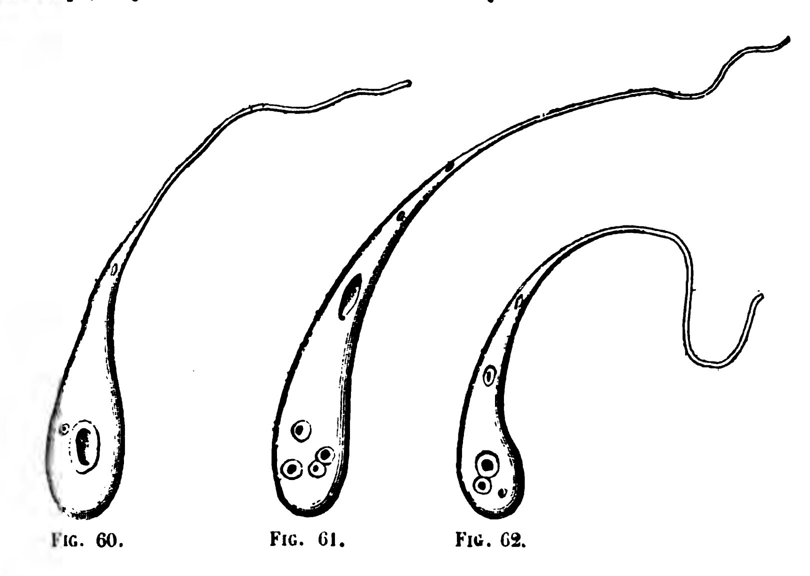


FIG. 60. FIG. 61. FIG. 62.

densité paraît être moindre vers le milieu de la larme qu'à la surface. Je ne donne ce résultat que sous toutes réserves : s'il était exact, le verre dans l'inté-

rieur de la larme serait dans un état forcé analogue à celui que M. Berthelot a observé pour les liquides dans certains états de dilatation forcée.

J'ajouterai que *les bulles que l'on remarque dans les larmes ne sont qu'accidentelles* et ne sont pas dues à la contraction du verre; *elles existent au moment où la larme se fait et avant le refroidissement, comme le prouve la forme allongée des bulles qui se trouvent dans beaucoup de larmes* (fig. 60, 61 et 62).

Enfin M. Feil m'a remis une larme représentée figure 63; cette larme, faite en crown léger, s'est brisée partiellement au moment de sa solidification, et elle laisse bien voir la structure lamellaire provenant de la différence de trempe et de dilatation des couches superposées.

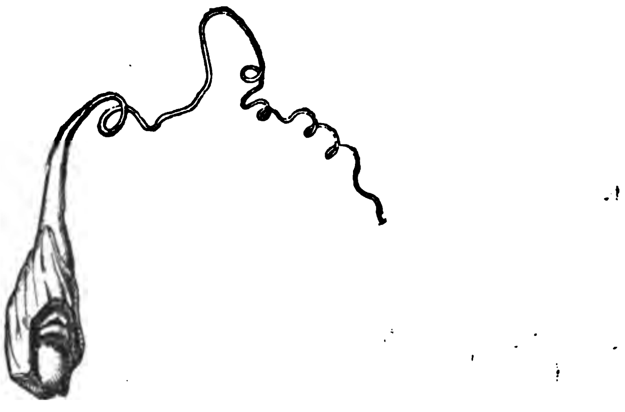


Fig. 63.

Toutes les expériences que je viens de décrire ont été faites avec des larmes préparées dans de bonnes conditions, c'est-à-dire ayant subi et conservé l'action de la trempe avec une intensité suffisante dans les couches voisines de leur surface. En effet, on ne peut pas obtenir des larmes bataviques avec des verres d'une composition quelconque. Si le verre est trop dur, les larmes éclatent sous l'eau. Si le verre est trop tendre, et si la larme est trop grosse, la partie renflée ne se trempe pas assez, et l'on obtient des larmes qui n'éclatent qu'à moitié quand on brise leur queue. Il faut donc tenir compte de la composition du verre et des dimensions des larmes lorsqu'on veut produire des effets énergiques, la rupture d'un vase plein d'eau, par exemple. Les larmes les mieux trempées et les plus explosibles m'ont été données par M. Feil, qui les avait faites avec du crown léger. Je dois aussi à l'obligeance de M. Richarme, de Rive-de-Gier, une collection nombreuse de petites larmes faites avec du beau verre à bouteilles, et qui produisaient une explosion assez forte.

En observant des larmes sous l'appareil de Noremberg, ou sous le microscope polarisant, on observe les colorations produites dans ce cas par le verre trempé comme l'a indiqué Brewster. En opérant sur un fragment de larme imparfaitement trempée, et qui s'était cassé nettement suivant une section transversale, j'ai observé les anneaux dus à la lumière polarisée, avec la croix noire à l'intérieur.

En résumé, les *phénomènes de rupture des larmes bataviques et du verre trempé sont principalement dus à la tension des couches extérieures qui subissent et conservent l'action de la trempe.*

Ces couches inégalement trempées, et par suite inégalement dilatées, cèdent, dans les circonstances indiquées plus haut, à la force de ressort qui les sollicite en se déplaçant dans le sens suivant lequel elles deviennent libres, ce qui prouve bien qu'il ne préexiste pas dans le verre trempé un état particulier d'arrangement des molécules.

L'existence de ces couches inégalement dilatées permet d'expliquer les effets de rupture qui se produisent dans le verre trempé par des changements de température ou sous l'influence de vibrations.

On peut supposer, en effet, à cause de la mauvaise conductibilité du verre pour la chaleur, qu'une couche très mince à la surface du verre se trouve, par une cause quelconque, assez trempée pour être dans un état de dilatation très différent de celui des couches intérieures.

Le moindre ébranlement ou le plus léger changement de température produira la rupture et par suite une fissure qui se propagera dans la masse du verre.

C'est exactement ce qu a lieu lorsqu'une tressaillure se manifeste sur une poterie dont la glaçure a été mal composée.

Les tubes épais peuvent être trempés sur leurs surfaces intérieures et extérieures. Les effets provenant de la trempe peuvent, en se composant, produire une cassure résultante, présentant une régularité et une disposition remarquables.

C'est à une cause du même genre qu'il faut rapporter la production des tressaillures régulières qu'on obtient sur les poteries dites *craquelées.*

Enfin ces expériences montrent le parti que l'on peut tirer de l'observation de la cassure des matières vitreuses dans l'étude de leur structure ou de leur mode de formation.

Théorie de lá trempe. — La trempe est l'opération par laquelle un corps, après avoir été chauffé, est brusquement refroidi (1).

Pour tremper le verre, on l'immerge, chauffé au rouge, dans un bain qui a une température donnée.

C'est-à-dire que le verre, lorsqu'il a reçu sa forme définitive, au lieu d'être porté dans un four appelé arche, où il se refroidit progressivement après avoir subit l'opération du recuit, est au contraire réchauffé au rouge et plongé dans un bain de graisse.

La trempe est d'autant plus énergique que le corps a été plus fortement chauffé et que le refroidissement a été plus considérable et plus rapide.

Le refroidissement est donné par la différence entre la température du verre au moment de son immersion et celle du bain.

(1) Je dois la plupart des détails de ce chapitre sur la trempe, à l'obligeance de M. l'ingénieur Bourée, qui a passé quelques mois à la cristallerie de Choisy-le-Roi, où sont mis en pratique les procédés de trempe du verre et du cristal

Les effets de la trempe sont purement physiques. La trempe change la constitution moléculaire du verre, il devient moins dense et ses fragments, lorsqu'on les brise, n'ont pas des arêtes vives comme le verre ordinaire; pressés dans la main, ils ne blessent pas.

Ce phénomène de métamorphisme s'accomplira dans des conditions d'autant meilleures, que les molécules auront entre elles moins de cohésion Plus le verre sera malléable et se rapprochera de l'état pâteux, plus les molécules se déplaceront facilement pour se grouper suivant une certaine loi.

Un verre qui n'aura pas été amené à un état suffisant de malléabilité, sera imparfaitement trempé, et au-dessous d'une certaine température il sera insensible à l'action du bain; mais trop ramolli il se déformera.

On est donc conduit à dire : que le verre, pour subir la trempe, doit être chauffé à la température voisine de celle qui produirait sa déformation, c'est-à-dire jusqu'au ramollissement.

La trempe est d'autant plus énergique que le refroidissement a été plus considérable. Mais le verre trempé dans un bain dont la température est trop basse se brise. La réaction étant trop brusque, le déplacement des molécules se produit d'une façon trop accentuée, et l'équilibre est rompu. Dans une certaine limite, la température du bain est fonction de celle du verre.

On est amené à chercher la température minima du bain à laquelle le verre chauffé jusqu'au ramollissement est susceptible d'être trempé.

Elle se trouve par tâtonnements et varie :

1° Avec la composition du verre;

2° Avec la forme, l'épaisseur et les dimensions de la pièce;

3° Avec la température du verre.

De l'influence de la nature du verre sur la trempe. — Suivant sa composition, un verre entrant en fusion et passant par ses différents états de malléabilité à des températures très variables, celle du bain doit aussi varier.

Des expériences multipliées restent à faire; on devrait pouvoir déterminer à priori quelles sont la température et la nature du bain qui conviendraient le mieux, pour un verre dont la composition exacte est donnée.

On peut dire en général : que le bain doit être d'autant plus chaud que le moment où le verre se ramollit est plus retardé.

Cristal. — Tout cristal se trempe dans un bain de graisse pure dont la température varie entre 60 et 120 degrés centigrades.

Des essais concluants ont été faits avec le cristal de Baccarat.

Le mélange suivant : 300 de sable,
100 de potasse,
50 de minium,

donne un cristal qui réussit très bien à la trempe.

Verre. — Le verre se trempe dans un mélange d'huile et de graisse dont la température varie entre 150 et 300 degrés et qui est d'autant plus haute, que ce verre fond plus difficilement.

Les proportions dans lesquelles la chaux et la soude entreront dans les compositions influeront donc d'une manière notable sur la température du bain.

Le verre de Bohême à base de potasse se trempe dans un bain atteignant au moins 300 degrés.

La température du cristal varie avec l'épaisseur et la forme des pièces. — Des pièces façonnées avec le cristal sortant d'un même creuset, suivant leur forme, leur épaisseur et leurs dimensions doivent être plus ou moins réchauffées avant de subir la trempe ; la température du bain doit aussi varier dans certaines limites.

Les pièces épaisses, demandant à être réchauffées plus fortement, nécessitent un bain un peu plus chaud.

Ainsi à Choisy-le-Roi, les tubes à gaz, les verres de lampes, etc., sont trempés dans un bain à 60 degrés. Les verres à boire, les gobelets, suivant leur forme et leurs dimensions, sont trempés dans des bains accusant 60, 65, 70 et 75 degrés.

Les carafes, les soucoupes, les « menchesters » sont trempés dans des bains variant entre 75 et 90 degrés.

Composition du bain pour le verre et le cristal. — La composition du bain a une influence notable. Tous les liquides ne sont pas propres à la trempe. M. R. de la Bastie, l'inventeur des procédés de trempe, a commencé par déterminer pour chaque liquide le coefficient de solidité qu'il donne au verre. Dans l'eau, le verre se brise presque toujours. La graisse parfaitement épurée et les huiles vierges exemptes de tout mélange donnent de très bons résultats.

La graisse pure est employée pour la trempe du cristal, de préférence a l'huile (les pièces trempées dans l'huile étant d'un nettoyage beaucoup plus dispendieux). La trempe du verre exigeant un bain dont la température varie entre 150 et 300 degrés, la graisse pure ne peut plus être employée en raison de son degré d'ébullition, on a recours à un mélange de 3/4 d'huile de lin et de 1/4 de graisse.

La glycérine pure ou certains mélanges de graisse et de glycérine, qui n'entrent en ébullition que vers 300 degrés, pourraient être employés avec avantage pour la trempe du verre.

Un bain de graisse qui ne serait pas parfaitement homogène, qui contiendrait des impuretés ou la plus petite quantité d'eau, serait impropre à la trempe.

C'est pourquoi une graisse nouvelle ne doit jamais être employée avant d'avoir été préalablement chauffée, pendant quatre ou cinq jours, à une température constante de 150 degrés. Elle sert ensuite indéfiniment et est d'autant meilleure qu'elle est plus ancienne.

On a proposé tout récemment, pour la trempe du cristal, l'emploi d'un bain composé de neuf parties de glycérine et une partie d'acide chlorhydrique.

Le mélange est fait progressivement par battage et par agitation, de façon à être bien homogène. Pour l'usage le bain est porté à une température intermédiaire entre 200 et 270 degrés.

Dans une usine il faut avoir, à poste fixe, un bain de graisse chauffant constamment qui sert à alimenter toutes les cuves.

Température parfaitement uniforme que doit avoir le verre pour être trempé. — Une condition indispensable pour le succès de la trempe est : que la température du verre soit parfaitement uniforme en tous les points de sa surface.

Moyens de la réaliser pour les pièces de gobeletterie. — Un verre irrégulièrement chauffé se brise dans le bain. La trempe n'étant plus uniforme, l'inégale tension des molécules rompt l'équilibre.

Dans la gobeletterie, l'objet sortant fini des mains du chef de place est loin d'avoir une température uniforme en tous les points de sa surface, il est toujours plus chaud à son extrémité qui a été façonnée la dernière et réchauffée davantage.

Dans cet état, il n'est pas susceptible de recevoir la trempe, outre qu'il n'est plus assez chaud : il doit être remis dans l'ouvreau et le plus profondément possible pour assurer l'égale répartition de la chaleur en tous ses points : en le retirant, l'ouvrier s'assurera, avant de le plonger dans le bain, que cette condition est bien réalisée; si les parties extrêmes lui semblent plus rouges que d'autres, il les essuiera délicatement avec un morceau de papier imbibé d'eau ou soufflera dessus, et replacera la pièce dans l'ouvreau pendant quelques secondes avant de la tremper.

Pendant combien de temps le verre doit-il rester ainsi dans l'ouvreau?

C'est à l'ouvrier de savoir apprécier ce temps. Je dirai cependant qu'un bon ouvrier trempe très chaud. Telle pièce qui, amenée au ramollissement, se déforme entre des mains inhabiles, conserve au contraire parfaitement sa forme si elle est confiée à un trempeur exercé.

Température uniforme dans l'ouvreau. — Il importe aussi que la température, dans l'ouvreau, soit bien uniforme. On l'obtient en faisant brûler des bûchettes qu'on a le soin de répartir bien uniformément.

Les courants d'air dans l'usine, qui viendraient refroidir le verre au moment de la trempe, doivent être soigneusement évités.

Homogénéité du verre nécessaire pour la trempe. — La bonne conduite des fours de fusion a une importance capitale, la parfaite homogénéité de la matière étant aussi une des conditions du succès.

Un verre qui a séjourné longtemps dans un creuset et qui, par ce fait, a été maintenu trop longtemps à une température élevée, tend à subir un commencement de dévitrification; dans cet état, il se brise dans le bain. Aussi le travail doit-il être mené rapidement et n'être jamais interrompu, quand on veut utiliser la presque totalité de la matière contenue dans le creuset.

Un verre présentant des stries, défectuosité qui tend à se produire si la conduite du four n'est pas régulière, ne réussit pas à la trempe.

Appareils servant à tremper les pièces de gobeletterie. — Le bain de graisse est contenu dans des cuves cylindriques en tôle placées sur le sol de l'usine et le plus près possible de l'ouvreau.

On leur a donné : $0^m,75$ de hauteur,
$0^m,60$ de diamètre.

Pour la commodité du dépontillage, leur hauteur ne doit pas dépasser celle de l'ouverture de l'ouvreau au-dessus du sol

Leur capacité est limitée par la nécessité de pouvoir les déplacer facilement dans l'intérieur de l'usine : elle est cependant suffisante pour que l'on puisse y tremper, pendant deux ou trois heures consécutives, des pièces de dimension moyenne.

En plaçant les cuves à une certaine profondeur dans le sol et en les faisant mouvoir sur rails dans les tranchées, on pourrait augmenter leur capacité et leur profondeur, tout en rendant leur déplacement plus facile.

Il faudrait pour cela avoir des ouvreaux chauffés dans des fours indépendants de ceux qui contiennent les creusets, dont les abords doivent rester entièrement libres

Panier de la cuve. — Dans la cuve s'emboîte un panier de $0^m,50$ de hauteur et de $0^m,55$ de diamètre; ses parois, en treillis de fil de fer à mailles larges, sont élastiques et soutenues par des armatures en tôle.

C'est dans ces paniers que tombent les verres au moment de la trempe.

Manière de tremper les objets de gobeletterie. — La pièce étant bien uniformément réchauffée, l'ouvrier la retire de l'ouvreau, la plonge rapidement dans le bain, la détache ensuite du pontil par un petit coup donné latéralement sur la tige avec un coin en bois et la fait tomber au fond du panier.

Cette opération demande une grande surveillance, et de la part de l'ouvrier trempeur beaucoup de soin et d'attention.

Il y a de nombreuses précautions de détail à observer, pour éviter la déformation du verre au moment de son immersion.

Ces précautions varient avec la forme des pièces, et il y a une étude à faire pour chacune d'elles.

Différents appareils ont été imaginés pour faciliter l'opération.

Trempe des verres d'éclairage et des pièces lourdes. Usage de la poche. — Une poche à fond mobile dont les parois sont en toile métallique, est fixée sur le bord de la cuve et immerge de $0^m,30$ à $0^m,35$, dans le liquide. Elle est destinée à recevoir préalablement les pièces qui, en raison de leur poids ou de leur forme, viendraient, par une chute trop brusque, briser les verres qui garnissent le fond de la cuve.

Trempe des gobelets. — D'autres pièces (par exemple les gobelets) ont été détachées du pontil directement dans la cuve, sans que l'on ait à redouter de casse.

Trempe des carafes. Usage du siphon. — La trempe des carafes et de tous les récipients à col présentait une difficulté, puisqu'il fallait réaliser l'introduction instantanée du liquide à l'intérieur. Avec le siphon on a trouvé la solution du problème.

Le col de la carafe est introduit dans la petite branche du siphon qui s'élève d'un demi-centimètre au-dessus de la surface du bain.

L'air comprimé s'échappe par le tube et le liquide prend sa place ; en même temps, un mouvement de bascule fait tomber la pièce au fond du panier.

On peut adapter au siphon une pompe pour aspirer l'air du flacon ; par ce moyen on réussit à tremper les bouteilles aux goulots les plus étroits.

On n'est pas encore parvenu à tremper les objets fabriqués en plusieurs morceaux, ils se dessoudent dans le bain.

Refroidissement, nettoyage et rinçage du cristal trempé. — Il importe de laisser le cristal trempé se refroidir graduellement avant de le retirer du bain.

A cet effet, les cuves, placées sur des tricycles, sont éloignées des ouvreaux et amenées dans une chambre où l'on maintient la température constante de 40 degrés, celle de la fusion de la graisse.

Au bout de quatre ou cinq heures, les paniers sont retirés des cuves, et les verres, mis à sec, sont enlevés un à un et rangés sur des claies.

Les claies sont portées dans une étuve appelée four d'égouttage qui est maintenue à la température de 70 degrés. Au bout de deux heures, les verres sont dépouillés de la graisse qui était restée adhérente aux parois. Retirés de l'étuve, ils sont replacés dans les paniers en treillis de fil de fer à mailles larges.

Ces paniers sont successivement plongés dans trois cuves : la première contient un bain saturé de soude caustique et chauffé à 60 degrés, la seconde renferme de l'eau à 50 degrés, la troisième de l'eau à la température ambiante.

Les verres, lorsqu'ils sortent de la troisième cuve, sont parfaitement rincés : essuyés, portés au magasin, ils subissent un premier triage avant d'être envoyés à la taillerie. J'ajoute ici que le verre trempé se taille et se grave aussi facilement que le verre ordinaire.

Refroidissement, nettoyage et rinçage du verre trempé. — Lorsque au lieu de graisse on se sert d'un bain d'huile, on laisse les pièces se refroidir davantage avant de les retirer de la cuve. Mais le nettoyage est beaucoup plus dispendieux, il faut se servir d'essence de térébenthine.

Prix de revient de la trempe du cristal. — L'installation de la trempe dans une cristallerie exige par four trois « places » travaillant d'une façon continue :

1° Comme personnel :

Un ouvrier de plus par place, appelé trempeur, — soit six trempeurs ;

Deux releveurs de cuves ;

Trois hommes préposés au nettoyage du cristal ;

2° Comme matériel :

Quatre cuves par place, — soit douze cuves, contenant chacune 170 à 150 litres de graisse ;

Deux ou trois poches, autant de siphons ;

Trois cuves en tôle de la capacité d'un mètre cube pour le nettoyage et le rinçage ;

Une certaine quantité de claies et de paniers, pour le transport du verre dans les cuves de nettoyage.

Une cuve à tremper avec ses accessoires revient de 100 à 120 francs. La

graisse coûte 120 francs les 100 kilogrammes. Par four de fusion de trois places (contenant 6 creusets et 4 ouvreaux) les frais de la trempe du cristal s'élèvent, par mois de vingt-six jours, à la somme de 2200 francs environ. Soit :

Six trempeurs, à 150 francs par mois....................	900
Deux releveurs de cuves à 150 francs par mois............	260
Trois hommes préposés au nettoyage, à 110 et 120 francs par mois..	350
Perte de graisse par l'évaporation et dans la manutention du verre..	200
Combustible pour le four d'égouttage pour les cuves à tremper et celles de nettoyage...........................	100
Soude pour le nettoyage..................................	150
Entretien des appareils et des fours d'égouttage, intérêts et amortissements du capital engagé pour leur construction.	250
	2210

La perte occasionnée par la casse et la déformation des pièces dans le bain était assez importante. Mais elle tend chaque jour à diminuer, avec les perfectionnements que l'on apporte dans la manière de tremper.

D'après ces données, connaissant exactement le nombre de pièces d'un même modèle, que l'on pourrait fabriquer dans une journée, il sera facile d'établir le prix de revient de la trempe pour chaque objet.

En admettant 10 pour 100 de casse et de déformation, ces prix seront approximativement :

De 0,022 à 0,025 pour les gobelets (de toutes formes) ;
0,030 pour les verres à gaz,
0,040 pour les verres de lampes ;
0,050 pour les globes de lampe ;

Prix de revient de la trempe du verre. — La trempe du verre est d'un prix plus élevé que celle du cristal.

Le verre se trempant dans l'huile, et à une température beaucoup plus élevée que le cristal, la perte de liquide due à l'évaporation est plus considérable, et le nettoyage des pièces est plus dispendieux.

Puis le refroidissement du bain étant plus lent, la continuité du travail exige, par place, un plus grand nombre de cuves à tremper : au lieu de quatre, il est nécessaire d'en avoir huit ou dix.

Nous donnons ci-après le croquis d'un appareil employé en Angleterre pour la trempe d'objets en verre de diverses formes, ainsi que la manière dont on opère :

La figure 64 représente une section transversale, la figure 65 une section longitudinale, la figure 66 un plan de section de ce four à tremper.

Les bouteilles à vin, les gobelets, verres et autres objets analogues sont préalablement chauffés dans un fourneau séparé ; on les introduit par le trou a^1 ; on les place sur la sole B, qui est faite de pierre ou de matière réfractaire, et posée sur un châssis *b*, que supportent deux bras b^2, b^3, sur une tige C, ayant elle-même un bras et un contrepoids *c*, et une *tige* extérieure D ; quand

on presse dessus, la sole prend obliquement la position indiquée par les lignes pointées E. Quand la sole est horizontale, elle couvre le bain et est de niveau avec une tige a^2, au côté du point a. Quand les objets placés sur la sole sont convenablement chauffés, un râteau les fait mouvoir vers la tablette a^2, et alors au moyen du levier D, la sole s'oblique de manière à découvrir le bain, les objets y tombent, et la sole reprend sa position horizontale. Comme la sole ne forme pas une fermeture hermétique au bain, il y a sous la sole une plaque f, que l'on fait mouvoir par un manche f^1, au moment du plongeon. Une écu-

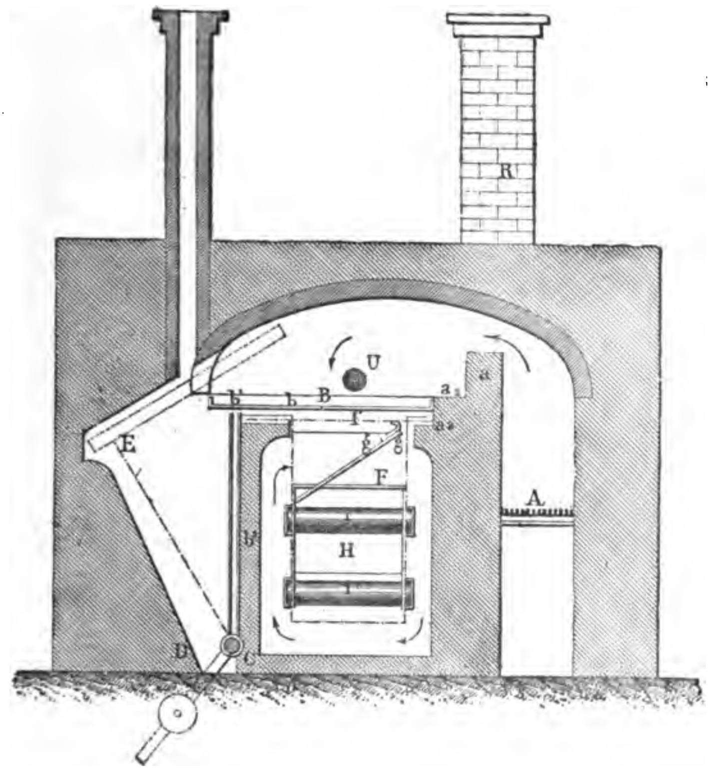


Fig. 64.

moire g est suspendue par des bras de l'axe g^1, qui a un manche extérieur g^2 et immédiatement avant l'immersion cette écumoire enlève l'écume ou croûte vers le côté. On arrange les choses de façon que l'écumoire agisse en même temps que la sole s'incline.

Pour empêcher les objets de heurter les côtés du bain, il y a une sorte de panier en fil d'archal à parois obliques et ouvert par le fond, suspendu dans le bain, — l'obliquité des parois guide les objets vers la toile mobile H. — Cette toile suit la forme du fond du four, elle reçoit les objets et les reporte par intermittence du panier h au panier l, suspendu par des trébuchets m, dans le puits I du four. La toile H avance d'un cran chaque fois qu'on presse le levier D.

Le chauffage du four et du bain s'effectue par deux foyers d'une manière similaire à celle déjà décrite pour le verre soufflé (en feuilles), et le bain est muni d'un couvercle ayant des portes, un thermomètre et autres choses nécessaires.

Un tuyau U, ayant une porte à pan *u*, peut être fixé dans le mur du four ; ce tuyau recevra du four une chaleur suffisante pour chauffer de petits objets, tels que les verres de lampe, que l'on place dans ce tuyau avant de les poser sur la sole B.

La figure 67 représente la bouche d'un four et un bain mobile, qui est très avantageux pour tremper des articles spéciaux, tels que les plaques de miroir, ou les verres optiques.

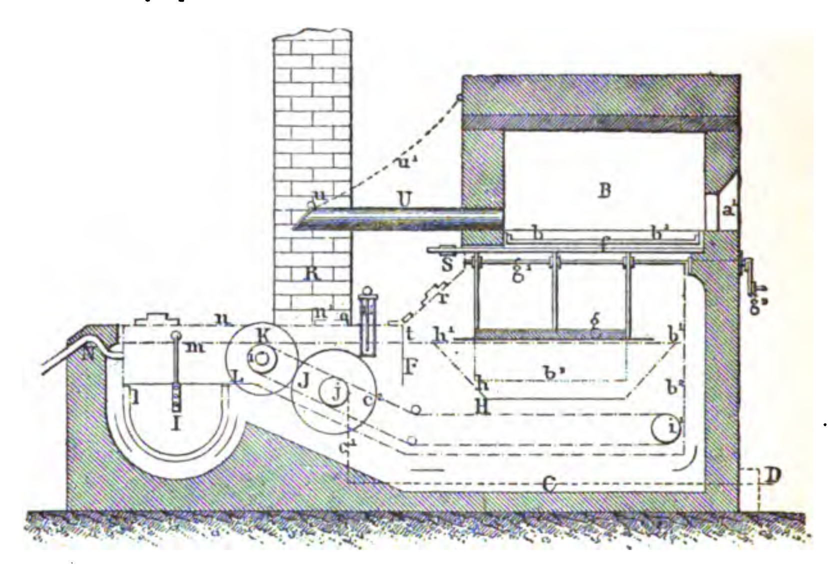


Fig. 65.

Ce bain mobile est un vaisseau rectangulaire plat, contenant une grille et ayant un côté ouvrant. Il est monté sur des tourillons ou bras près de la bouche du four et ajusté à une inclinaison qui coïncide avec celle de la sole, quand elle est penchée.

On ouvre le bout du bain, et la sole s'incline vers lui, de manière que les objets glissent de la sole dans le bain, que l'on ferme alors et qu'on éloigne.

Faisant face à la bouche du four, est placé un châssis assemblé C, muni de segments de cercles et de vis qui s'emboîtent, de manière à lui donner tous les angles et les attitudes désirables. Le bain mobile C, qui contient un liquide et une grille, est chauffé séparément et placé sur la table *c*, du châssis assemblé, et tenu en position par la vis J. Pour l'immersion, on ouvre la porte K du bain, le verre glisse de la sole dans le bain ; on ferme la porte K, et on éloigne le bain, pour donner sa place à un autre bain de la même espèce.

Pour tremper les objets cylindriques, tels que les verres de lampe, l'appareil consiste en un long essieu, ou arbre, sur lequel on place le verre entre deux cônes ou entre un cône et un collier. L'arbre est arrangé pour glisser par un

collier, et tourne avec un pignon, auquel on peut donner une grande vitesse de

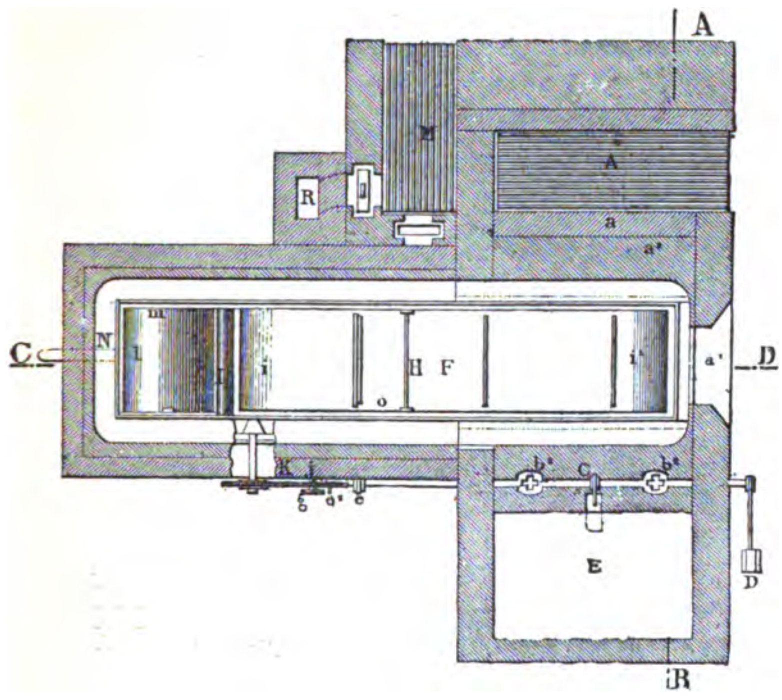


FIG. 66.

rotation. Le pignon est mû par un bras sur un axe horizontal. Dans une

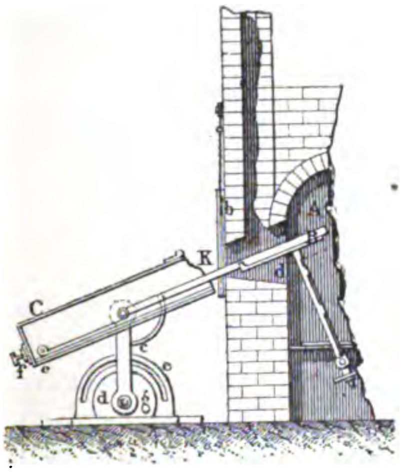


FIG. 67.

position de ce bras, l'arbre est horizontal, ou à peu près, et peut glisser avec le

verre qu'il porte par une ouverture dans le four, où, grâce au mouvement de rotation, le verre est chauffé d'une manière uniforme. On meut ensuite le bras pour le placer dans une attitude inclinée, lorsque le bout de l'arbre et le verre qui est dessus, s'inclinent jusque dans le bain qui est en bas de la chambre du four.

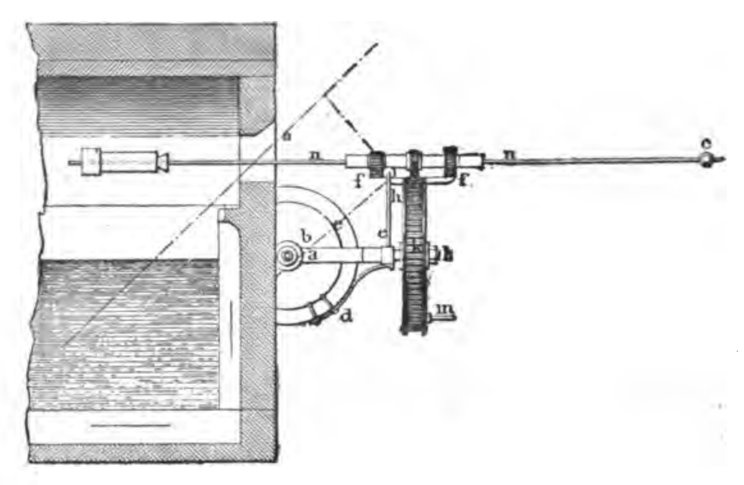


Fig. 68.

La figure 68 représente une partie de la section d'un bain avec appareil pour tremper les verres de lampe ou les tubes en général. La figure 69 est la vue de face de l'appareil.

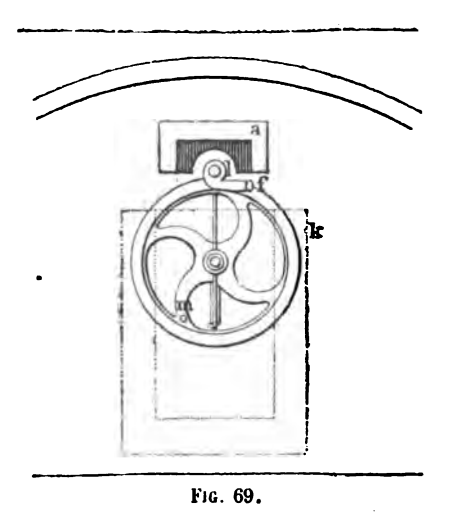


Fig. 69.

Un châssis *a*, pivote en *b*, et grâce à une forte clavette *d*, portant sur un axe *c*, avec une friction suffisante pour tenir le châssis en toute attitude. Sur le châssis *a* est monté un tambour K, que l'on peut tourner par un manche à manivelle *m*; et il y a aussi monté sur deux portants *f*, *f*, et s'appuyant sur le châssis *a*,

par une colonne *e*, une manche *i*, sur laquelle il y a une petite poulie, qui porte contre le tambour K, et poussée par le contact de friction à travers la manche *i*, glisse une baguette *n*, qui peut être carrée, de manière à tourner avec *i*, mais à glisser librement à travers elle. A une extrémité de la barre ou tige il y a un manche sphérique, par lequel on peut tirer ou pousser la barre pendant qu'elle tourne. A l'autre extrémité, il y a un cône sur lequel on place le verre de lampe. L'ouvrier pousse la barre *n*, de manière que le verre entre par un trou dans le four ou dans un tuyau U chauffé (fig. 28), et tournant le tambour K, il donne au verre une rotation rapide, afin de le chauffer uniformément à la température voulue. Il le retire ensuite jusqu'à ce qu'il soit au-dessus du bain, comme on peut le voir sur la figure 31; alors levant le châssis *a*, il fait prendre à l'appareil la position inclinée qu'indiquent les lignes pointées, et le verre plonge dans le bain.

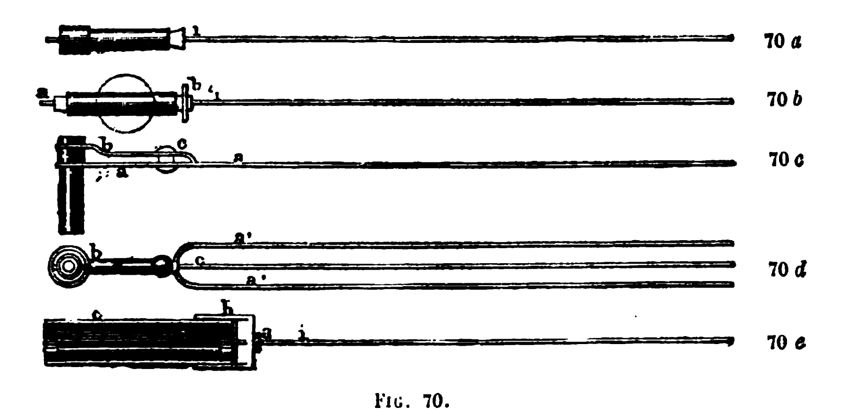


Fig. 70.

Les figures 70 *a* et 70 *b* montrent des barres *i*, telles que celles indiquées en *n*, ci-dessus, pour tenir les verres, soit cylindriques en forme de poire ou de globes, soit de toute autre forme ronde; des colliers *a* et *b*, en porcelaine ou autre matière réfractaire, qui sont adaptés aux barres, pour y maintenir les verres en place. Des pinces de diverses formes peuvent aussi être employées pour tenir entre leurs griffes les verres à tremper pendant qu'on les chauffe, de sorte qu'en ouvrant les griffes ces verres tombent dans le bain. Quand on emploie ces pinces, il y a un troisième bras, auquel est attaché un anneau, ou des parties d'anneau, qui détache le verre des griffes, quand il adhère trop et hésite à tomber.

La figure 70 *c* est une vue de côté et la figure 70 *d* un plan de pinces pour verres de lampe. *a* sont les griffes des pinces, qui font agir les manches a^1, a^1; et *b* est un anneau embrassant le verre, et agissant grâce au bras intermédiaire *c*, de manière que si le verre restait adhérent aux griffes après qu'elles sont ouvertes, l'anneau *b* puisse les détacher.

La figure 70 *e* montre une barre *i*, avec un cylindre creux *c*, en terre à pipe ou autre matière réfractaire, tenu entre deux griffes *b*, guidées par la bosse *a*. Un tube en verre ou tout autre objet cylindrique est placé dans l'intérieur du

cylindre c, que l'on met en rotation, et, quand l'objet est chauffé suffisamment, on le fait tomber dans le bain, en inclinant le cylindre vers le bas.

Les petits objets, comme les plats, les coupes et autres verres semblables, peuvent être chauffés dans des moules en terre réfractaire, de manière à éviter toute déformation; et en renversant le moule, ils tombent naturellement dans le bain.

Pour tous les vases faits d'une pièce, par exemple les gobelets, etc., ce procédé est excellent et il est probable que si l'on arrive à pouvoir traiter ainsi le cristal creux, on échappera à l'emploi des appareils mécaniques compliqués, qui ont été indiqués plus haut, et on trempera le verre dans le cours de la fabrication au lieu de le réchauffer et de le tremper, après l'avoir complètement fabriqué et recuit.

Sur la ***résistance à la flexion du verre trempé.*** — La résistance au choc du verre modifié par la trempe a paru remarquable. Aujourd'hui que le verre trempé est entré dans le domaine de l'application, il est devenu plus facile d'apprécier exactement, sur des échantillons nombreux et homogènes, ses principales propriétés.

Des essais ont été faits au laboratoire d'épreuves de M. Thomasset, dans le but de comparer la résistance à la flexion des verres et glaces ordinaires avec celles des verres et glaces trempés. Une première série de trente-six essais comparatifs a montré que :

1° L'élasticité est plus que doublée dans le verre trempé;

2° Le verre simple trempé a une résistance d'environ 2,5 fois plus grande que le verre double ordinaire;

3° Le verre demi-double trempé est environ 3,10 fois plus résistant que le verre double ordinaire.

Une autre série de quarante-trois essais montre que :

1° Tandis que les flèches prises par les glaces ordinaires sont si faibles qu'elles n'ont pu être relevées, les glaces trempées s'infléchissaient sous les charges;

2° Les glaces polies trempées, ayant des épaisseurs variant de $0^m,006$ à $0^m,013$, présentaient une résistance 3,67 fois plus grande que celle des glaces ordinaires d'épaisseur sensiblement égale;

3° Les glaces brutes trempées avaient une résistance environ 5,33 fois plus grande que celle des glaces brutes ordinaires.

Verre ***durci de compression, de F. Siemens.*** — La méthode de M. de la Bastie, de même que toutes celles qui se sont fait jour depuis et qui sont basées sur le même principe, exigent que l'objet en verre soit entièrement achevé avant que l'on puisse le tremper, ce qui élève considérablement le prix des articles et occasionne un grand nombre d'autres inconvénients. Ainsi, lorsque l'on chauffe le verre jusqu'à la température nécessaire pour la trempe, il est tellement ramolli qu'il est presque impossible de transporter l'objet du four dans le bain sans qu'il se produise une déformation plus ou moins importante; c'est de là que proviennent les déformations que l'on constate dans un si grand nombre d'articles commerciaux en verre trempé et notamment le manque de

planimétrie des verres à vitres. Un autre inconvénient très sérieux et qui occasionne des dépenses très grandes, réside dans la nature du bain. On sait que ce dernier est formé de suif, d'huile ou d'autres matières grasses que l'on doit maintenir à une température variable entre 200 et 300 degrés, suivant la quantité du verre à tremper; quand on plonge dans ce bain chaud un objet chauffé au rouge, il prend feu très aisément; ce danger peut être évité par des précautions soignées, mais il n'en est pas moins à craindre. L'odeur pénétrante qui se dégage du bain est encore une chose très désagréable; la consommation d'huile est considérable, parce que cette substance se décompose peu à peu par son contact avec le verre chauffé au rouge et que l'on doit, par conséquent, renouveler fréquemment le bain. Enfin chaque composition spéciale de verre exige une autre température du bain et il est très difficile de maintenir exactement cette température pendant l'opération de la trempe; de tout cela, il résulte évidemment que le bain constitue un côté éminemment faible de la trempe du verre.

M. Siemens, qui a pris beaucoup de peine pour rendre pratique le procédé de la Bastie, s'est convaincu bientôt qu'il fallait prendre une autre voie si l'on voulait tirer utilement parti de la nouvelle découverte. Sans parler du prix élevé de la méthode, il n'était pas possible de fabriquer certains articles, notamment le verre à vitres, sous la forme et la grandeur voulues; or le verre à vitres semble être celui auquel la trempe s'appliquerait le plus utilement. Il s'agissait donc de trouver une méthode qui prévînt entièrement la déformation de l'objet : M. Siemens eut l'idée de substituer aux bains à refroidir des corps solides correspondant à la forme des objets.

Les premiers essais, faits dans le but de durcir de petits carreaux de vitres entre des plaques en terre cuite, montrèrent clairement que ce système pouvait conduire à un résultat réellement pratique, et cette manière de voir se trouve confirmée aujourd'hui. Il y a environ trois ans que ces premières tentatives furent effectuées et, depuis lors, les résultats obtenus ont été de plus en plus avantageux.

La méthode de fabrication du verre durci de compression n'est pas seulement un procédé de durcissage du verre : elle constitue, en même temps, un véritable mode de fabrication du verre, puisqu'elle a lieu dans des moules. La trempe, le soufflage et le façonnage ont donc lieu en une seule et même opération. On conçoit que tous les objets en verre ne peuvent être obtenus par ce procédé : il faut qu'ils puissent être presses entre deux formes simples. A cette catégorie appartient le verre à vitres, le seul que M. Siemens produise actuellement dans sa fabrique de Dresde; cependant, il se propose plus tard de fabriquer également d'autres articles, tels que assiettes, verres à boire, tasses, soucoupes, etc.

Les deux méthodes de la Bastie et Siemens ne doivent pas, en réalité, être regardées comme concurrentes; chacune a sa sphère d'application particulière. Celle de M. de la Bastie convient surtout pour les cylindres, les verres creux et autres articles de forme compliquée, tandis que celle de M. Siemens s'applique mieux aux formes plus simples et notamment au verre à vitres.

M. Siemens déclare qu'il ne croit pas que son verre durci soit destiné à supprimer l'emploi du verre à vitres ordinaire: le verre durci présente l'inconvé-

ment de ne pouvoir être coupé à la manière ordinaire : le diamant ne mord pas sur lui ; par contre, il se laisse parfaitement polir, percer et mater. La résistance du verre durci contre les chocs et la pression est décuple au moins de celle du verre ordinaire de même épaisseur, de sorte que, malgré son prix encore relativement élevé, il pourra être employé pour un grand nombre d'usages. Comme on peut diminuer l'épaisseur, la différence du prix tend aussi à disparaître.

M. Siemens recommande l'emploi de verre en tables durci pour les toitures de fabriques, phares, etc. ; pour les carreaux unis, mats, en couleur, etc., pour les fenêtres ; pour les vitres des réverbères, des voitures, des portes ; pour les signaux, les aquariums, les dalles et enfin dans tous les cas où, par suite du prix élevé des objets, il est à désirer qu'ils aient une plus grande résistance. Le verre durci convient encore partout où il s'agit de résister à des différences de température extraordinaires : regards et portes de fourneaux, verres de lanternes, etc.

Relativement au prix, on peut dire déjà maintenant que le verre durci ne sera pas, en général, sensiblement plus coûteux que le verre ordinaire et que, dans certains cas, comme pour les vers façonnés et courbes, le verre durci sera d'un prix moindre que le verre ordinaire. Aujourd'hui, le verre durci coûte encore 50 pour 100 plus que le verre ordinaire, mais comme il résiste dix fois plus, ce prix n'est pas encore trop élevé ; il est d'ailleurs à supposer qu'il y aura diminution, par suite des perfectionnements que la pratique introduira dans la fabrication.

Le verre durci de compression possède une résistance bien supérieure à celle que présentent les autres verres trempés ; sa cassure est tout à fait différente, elle est fibreuse et non pas cristalline.

On peut également obtenir du verre à cassure cristalline par la compression ; mais il résiste alors moins que celui qui est fibreux et il se brise seul, comme le verre trempé. Ce dernier offre encore l'inconvénient de ne pouvoir être poli ni percé et d'éclater en morceaux dès que l'on entame sa surface extérieure ; ceci n'arrive jamais avec le verre durci de compression.

Nouveau procédé pour durcir le verre. — A la suite de l'échec absolu du procédé la Bastie pour tremper et durcir le verre, on a été conduit à chercher d'autres méthodes. Parmi ces dernières, il en est une qui est usitée en France et tend à se répandre de plus en plus.

Elle consiste à couler le verre à la façon dont on opère pour la fonte, avec cette différence qu'au lieu de sable on fait usage, pour la confection du moule, d'une substance ayant très sensiblement la même conductibilité et la même capacité calorifique que le verre. Le verre et le moule ne constituent en quelque sorte qu'une masse homogène, il en résulte un refroidissement beaucoup plus régulier.

D'ailleurs, si on prend soin que la surface du verre ne soit pas en contact direct avec la surface extérieure du moule, il importe peu que le refroidissement soit lent ou au contraire très rapide, car le point important est que le moule et le verre soient amenés à la même haute température, qui sera

plutôt supérieure à celle à laquelle se durcit généralement le verre moulé à la presse.

Lorsque le moule a été parfaitement chauffé, on l'enlève du four et on le laisse au grand air : le refroidissement est assez rapide pour produire sur le verre un durcissement.

Verre trempé au moyen de la vapeur. — Nous allons résumer brièvement le travail présenté par M. Léger, l'un des inventeurs de ce procédé, à la Société des sciences industrielles de Lyon et publié dans ses *Annales* de 1877.

L'auteur commence par passer successivement en revue les tentatives faites jusqu'à ce jour. Il s'occupe ensuite des appareils et de la méthode de M. de la Bastie qu'il apprécie de la manière suivante :

« Jusqu'ici, le procédé de M. de la Bastie semble enfermé dans le cercle étroit des objets plats ou ouverts, d'épaisseur sensiblement uniforme, plus spécialement en cristal, mais ne paraît pas, si l'on en juge par les seuls échantillons mis dans le commerce, s'appliquer avec bonheur aux objets en verre, aux pièces de forme irrégulière ou inégale, ou composées de plusieurs parties, ou de grandes dimensions, comme les bouteilles, les verres à pied, les grandes vitres, etc., celles qui ont précisément le plus d'intérêt à être rendues plus résistantes. »

L'auteur développe les avantages que présente la vapeur pour opérer la trempe du verre. Elle a surtout celui de s'appliquer avec une simplicité et une économie d'outillage qui n'apportent aucune modification aux installations et aux pratiques actuelles de l'industrie verrière et qui les conserve presque entièrement, souvent même en les simplifiant.

« On peut, en trempant le verre, avoir non du verre incassable, mais un verre trois ou quatre fois plus résistant, toutes choses égales d'ailleurs, et obtenir une matière qui, avec les facilités et l'économie de façonnage, avec les avantages propres que l'on sait, offre une résistance à la traction par millimètre carré de section transversale allant jusqu'à 11 et 12 kilogrammes; soit des qualités de résistance comparables à celle de la fonte (12 kilogrammes), ou du laiton ($12^{kil.}$,6). Voilà la mesure exacte de l'intérêt que présente le trempage du verre : elle suffit à en faire apprécier l'importance véritable. L'élasticité et la sonorité croissent dans une proportion comparable et deviennent encore caractéristiques. »

L'auteur décrit les installations nécessaires au mode de trempage à la vapeur et qu'il a cherché à établir en restant dans les conditions que l'on rencontre actuellement dans le travail des verreries. Il fait connaître les modifications à adopter, ainsi que la marche des opérations, détails qu'il nous suffit de signaler; les industriels intéressés pourront recourir au travail dont nous indiquons plus haut l'origine.

L'auteur étudie ensuite l'application industrielle du trempage aux produits céramiques. « Outre l'intérêt, dit-il, que l'industrie peut avoir à pratiquer le refroidissement plus rapide, la trempe qui en résultera nécessairement offrira toujours les plus grands avantages pour la poterie, qu'elle rendra moins fragile, pour les briques, dont elle augmentera la cohésion et la résistance à l'écrasement, pour les carreaux, dont elle accroîtra la résistance à la rupture et à l'user,

et même pour les petits boutons en porcelaine vitrifiée, qui résisteront mieux aux chocs qui les brisent si facilement dans le lavage. »

Traverses en verre trempé pour voies permanentes. — Une application très curieuse de verre trempé a été faite par M. Hamilton-Lindsay Bucknall; il s'agit de l'emploi du verre trempé pour la construction des traverses et des coussinets de chemins de fer. Le verre est moulé à la forme voulue et le refroidissement du verre est réglé de telle façon que le rayonnement de chaque point de sa surface corresponde à l'épaisseur du verre, ce qui assure l'uniformité de la trempe. A cet effet, on se sert de moules creux en fer et l'on fait circuler de l'eau froide ou de l'air froid aux points où le verre est le plus épais, afin de rendre le refroidissement uniforme.

Le verre est chauffé à une température élevée, puis plongé dans un bain froid d'huile ou d'un autre liquide. M. Siemens a trouvé que la trempe pouvait être effectuée dans les moules eux-mêmes en empêchant soigneusement le verre d'être en contact direct avec le moule métallique, afin de prévenir le durcissement de la surface du verre et ensuite en se servant de moules creux, pour maintenir une température uniforme dans toute la pièce pendant la trempe. On modifie le degré de la trempe en recuisant les objets dans un four.

Les moules sont protégés par de la toile métallique, par des tôles perforées ou du plâtre, en couches d'épaisseur variable suivant la rapidité et le degré de trempe qu'on désire, d'après la nature et la composition du verre. Toutes les variétés de verre soumises à l'essai ont été également effectuées pour l'opération.

Voici le résultat d'une analyse que nous avons faite d'un fragment de verre vert foncé, trempé, servant au moulage des traverses et coussinets pour voies ferrées :

Silice	58,10
Soude	8,02
Potasse	0,97
Chaux	18,17
Magnésie	0,11
Alumine	10,70
Oxyde de fer	1,81
Oxyde de manganèse (Mn^3O^4)	1,95
Pertes	0,17
	100,00

Le prix de revient de ce verre trempé ne dépasse pas celui de la fonte, mais sa densité n'est que le tiers de celle du fer et sa résistance pratique est aussi grande. Les traverses en verre ne s'altèrent pas et leur durée doit, par suite, être considérable.

De semblables traverses sont placées sur les tramways du North Metropolitan, à Londres. M. Kirkaldy a trouvé que, placées sur deux supports distants de $0^m,45$, elles résistaient à une charge d'environ 766 kilogrammes par centimètre carré. Dans les essais exécutés à l'usine de M. Henderson, d'Irvine, un poids de 450 kilogrammes tombait sur une plaque de verre de $0^m,225 \times 0^m,225 \times$

$0^m,028$, placée sur un ballast en gravier de $0^m,225$ de profondeur, un coussin en bois de $0^m,003$ d'épaisseur étant placé entre le verre et le rail ; la hauteur de chute fut portée successivement de $0^m,30$ à $1^m,65$, $2^m,10$, $3^m,75$, $4^m,50$ et 6 mètres, sans qu'il se produisît de rupture ; le rail se brisa par cette dernière hauteur, et comme la grue ne pouvait soulever le poids plus haut et qu'on ne pouvait employer un poids plus lourd, on prit un rail à section plus faible et le verre céda avec une hauteur de chute de 6 mètres. Une plaque de fonte de $0^m,225 \times 0^m,225 \times 0^m,013$, essayée dans les mêmes conditions se brisa pour une hauteur de chute de 3 mètres.

M. Bucknall propose de faire ces traverses en laitier de haut fourneau, d'après le procédé de M. Bashley-Brittain, combiné avec la méthode de trempe de M. Siemens. L'inventeur mentionne que les traverses placées sur le tramway North Metropolitan sont en service depuis six mois et que la voie a été traversée à angle droit par des charges de 15 tonnes remorquées par une locomotive ; les traverses sont en aussi bon état dans ces croisements qu'aux autres endroits.

Du degré de la trempe du verre. Sa constatation. — L'étude de la trempe et de l'homogénéité des verres présente un intérêt scientifique quand il s'agit de choisir une matière pour la construction d'un objectif, et surtout pour la construction des appareils interférentiels. D'un autre côté, il peut être utile dans l'industrie d'avoir un procédé rapide pour constater le degré de trempe des verres, afin d'éviter les cas de rupture spontanée qui se présentent quelquefois, même dans les grandes glaces.

On peut sans doute tailler des faces à peu près parallèles dans différentes directions, et examiner le verre avec un analyseur et un polariseur ; mais cette méthode est longue et ne peut être appliquée que dans des cas très particuliers.

« Lorsque mon attention a été appelée sur ce sujet, dit M. Mascart dans sa communication à la Société de physique, séance de mars 1874, je me suis rappelé une belle expérience que j'avais vue dans le laboratoire de M. Coulier : une baguette de verre tordue en tire-bouchon était plongée dans de l'acide phénique rendu liquide par une petite quantité d'eau. La baguette était presque invisible par transparence directe ; on l'apercevait bien par un éclairage latéral, surtout à cause des fils et des défauts d'homogénéité du verre. Si un bloc de verre de forme quelconque et bien homogène était ainsi immergé dans un liquide ayant exactement la même réfrangibilité et la même dispersion, le verre disparaîtrait absolument. Ce phénomène a déjà été observé pour certains sels qui ont les mêmes propriétés optiques que les eaux mères dans lesquelles ils cristallisent. L'identité des propriétés optiques est à peu près réalisée pour le verre ordinaire et l'acide phénique ; on voit seulement, sur les contours de l'objet immergé, une faible irisation qui tient aux spectres secondaires dus à la différence des dispersions.

» Si l'on veut maintenant étudier le verre d'une coulée de glaces, on en découpe un morceau que l'on plonge dans une cuve de verre, à faces parallèles, collée à la gomme et renfermant de l'acide phénique hydraté. En examinant la glace par la tranche on distingue immédiatement tous les fils qu'elle renferme. Pour observer la trempe, il suffit de polariser la lumière à 45 degrés de la lame et d'armer l'œil d'un analyseur.

» Si, l'analyseur étant orienté de manière à éteindre la lumière incidente, on interpose la cuve, on voit deux bandes noires parallèles à la surface de la lame et à peu près à égale distance du centre et des bords. Il y a donc dans toute la glace coulée et recuite par les procédés industriels deux couches dont la double réfraction, et, par conséquent, la trempe sont nulles. Tout étant symétrique par rapport à la normale, la double réfraction des autres régions est évidemment comparable à celle d'un cristal à un axe dont l'axe de cristallisation coïnciderait avec la normale à la lame. Si l'on place entre la cuve et l'analyseur une lame de spath d'Islande perpendiculaire à l'axe et qu'on incline cette lame autour d'une normale à la glace, on voit les deux bandes noires se rapprocher du milieu. Il résulte de là que la double réfraction du verre étudié est négative dans la zone comprise entre les couches neutres, et positive dans les deux zones extérieures.

» On peut évaluer le degré de trempe en déterminant l'épaisseur de quartz nécessaire pour annuler la double réfraction. Plaçons par exemple, entre l'analyseur et la cuve, un compensateur à teintes plates, et supposons que ce compensateur soit au zéro, c'est-à-dire ne produise pas la différence de marche, lorsque la plaque mobile est au milieu de sa course. Dans ces conditions, les bandes noires ne sont pas déplacées; mais, si l'on fait glisser dans un sens ou dans l'autre la plaque mobile du compensateur, on voit les bandes noires marcher vers le milieu ou vers les bords de la glace. Si le compensateur est gradué, on obtient ainsi la différence due à la trempe. L'expérience indique que les différences de marche produites par le milieu ou par les bords sont à peu près égales et de signes contraires, de sorte que la somme algébrique des doubles réfractions d'une pareille glace est sensiblement nulle. Une bonne glace de commerce de 10 à 13 millimètres d'épaisseur, donne ainsi, pour une longueur de 20 centimètres, une différence de marche qui varie entre 1/3 à 1/2 longueur d'onde. Si la trempe dépasse cette valeur et surtout si elle est irrégulière, le verre est médiocre et risque de se briser dans le travail du polissage. Le verre est tout à fait mauvais quand la différence de marche atteint une longueur d'onde. — Pour donner une idée de l'état moléculaire des verres trempés il est bon de comparer la double réfraction ainsi produite avec celle que l'on obtient par les actions mécaniques. — Brewster a reconnu depuis longtemps que le verre comprimé acquiert une double réfraction négative. Le milieu d'une glace est donc dans un état analogue à celui que produirait une compression normale ou une dilatation parallèle aux faces; les couches superficielles sont au contraire comparables à une lame de verre soumise à une traction normale. D'autre part, Wertheim a montré que la différence de marche produite par la pression ou la traction est proportionnelle à l'effort exercé dans les limites où le verre peut résister sans écrasement. Il résulte de là que, pour une lame taillée en parallélipipède rectangle, et comprimée sur deux faces opposées, la différence de marche due à une pression déterminée est indépendante de la longueur de cette lame, c'est-à-dire du chemin parcouru par le rayon lumineux, et en raison inverse de sa largeur: c'est ce que Wertheim a vérifié par de nombreuses expériences. Il a trouvé ainsi qu'avec le verre à glaces il faut une pression de 166 kilogrammes pour produire une différence de marche d'une longueur d'onde, pour une largeur de 1 centimètre; si l'on suppose que cette lame ait 20 centi-

mètres de longueur comme celle dont j'ai parlé plus haut, cela correspondrait à une pression de 8kil.,25 par centimètre carré, c'est-à-dire d'environ 8 atmosphères. Comme les glaces du commerce donnent une différence environ moitié moindre, il résulte que la couche centrale et les couches superficielles d'une pareille glace sont dans un état analogue à celui que produiraient une compression centrale et une dilatation superficielle de 4 atmosphères.

» Les larmes bataviques, qui sont un cas tout à fait excessif de trempe du verre, donnent des résultats bien plus remarquables. Une larme de 5 millimètres de diamètre environ, observée dans l'acide phénique, montre cinq ou six franges d'un grand éclat; c'est une expérience très facile à répéter, et la projection de ces courbes colorées avec la lumière de la lampe de Drummond est l'un des plus beaux phénomènes de la polarisation chromatique. La structure d'une larme batavique est complexe; mais, si l'on suppose la goutte parfaitement cylindrique, il est clair que la distribution des pressions dans l'étendue d'une section normale sera déterminée par une série de cercles concentriques. La différence de marche éprouvée par les deux composantes d'un rayon polarisé que parcourt une corde de cette section sera la somme algébrique des effets produits par les différentes couches séparément, et, en examinant le phénomène depuis le bord jusqu'au centre, on peut calculer le détail des actions en chaque point; mais, sans faire aucun calcul, on peut dire qu'une larme batavique est dans un état comparable à celui d'une plaque de verre de même longueur qui donnerait la même différence de marche. Or la pression nécessaire pour produire une différence de marche de cinq longueurs d'onde serait de 825 kilogrammes, et, si l'on suppose une longueur de 5 millimètres, la pression par centimètre carré sera de 1650 kilogrammes. L'état moléculaire d'une larme est donc analogue à celui que produirait sur une lame de verre une pression d'environ 1600 atmosphères.

» Enfin, si l'on veut étudier des verres plus réfringents, tels que le cristal du commerce ou les flints d'optique, l'acide phénique ne convient plus; on aura recours alors à un mélange de sulfure de carbone avec de l'alcool ou de la benzine. Le liquide ainsi obtenu n'a pas en général la même dispersion que le verre; on aperçoit alors des colorations très vives dues à des spectres secondaires; mais ces couleurs ne gênent guère pour l'observation que l'on a en vue. »

La réfraction est simple dans le verre ordinaire, double dans les verres refroidis rapidement ou comprimés. Les verres de plomb et de bismuth sont les plus réfringents. Les coefficients de réfraction de diverses variétés de verres, rapportés au vide, sont :

Diamant	2,506
Cristal de roche	1,547
Crown-glass D = 2,52	1,534
Crown-glass D = 3,77	1,637
Verre de thallium D = 5,62	1,965

MM. V. de Luynes et Feil ont étudié divers phénomènes se rapportant au verre

trempé, nous reproduisons la communication faite à ce sujet à l'Académie des sciences, le 16 août 1875:

« La cassure des blocs et des plaques de verre trempé, de différentes formes et de diverses dimensions, présente de l'analogie avec celle des larmes bataviques par les circonstances dans lesquelles elle se produit et par la forme et l'arrangement des fragments provenant de la rupture du verre.

» En général, il n'est pas possible d'entamer un morceau de verre trempé à l'aide de la scie, du foret ou de la lime, sans que le verre trempé éclate à la façon des larmes bataviques. Cependant, dans quelques cas particuliers, il est possible de scier ou de percer le verre trempé sans déterminer sa rupture. Ainsi un disque peut être percé à son centre sans éclater; il se brise, au contraire, quand on le perce en tout autre point ou quand on le scie suivant un diamètre. Une plaque carrée de glace de Saint Gobain trempée montre, lorsqu'on l'examine à l'aide de la lumière polarisée, une croix noire dont les branches sont parallèles aux côtés du carré. Il est toujours possible de scier la plaque suivant ces directions, sans qu'elle se brise. Mais en dehors de ces lignes, parallèlement ou transversalement à leurs directions, on ne peut pas parvenir à scier ou à percer la plaque sans la briser, comme cela peut se voir sur les nombreux échantillons que nous présentons à l'Académie.

» En regardant à la lumière polarisée les deux fragments provenant d'une plaque carrée sciée en deux, on aperçoit des bandes noires et des franges colorées dont la disposition prouve que l'état moléculaire des fragments n'est plus le même qu'avant le sciage. En plaçant ces deux fragments directement l'un sur l'autre, les franges et les bandes noires disparaissent. En les superposant en sens inverse, les franges et les bandes noires prennent l'aspect qu'elles présenteraient avec une plaque d'épaisseur double. Ces faits montrent bien que tout est symétrique dans la plaque par rapport au trait de scie. On peut de plus en conclure que, le verre trempé étant dans un état de tension semblable à celui qui existe dans les larmes bataviques, on pourra toujours le scier ou le percer toutes les fois que les fragments résultant de ces opérations pourront prendre un nouvel état d'équilibre stable. L'étude de la lumière polarisée permet d'indiquer la marche à suivre pour arriver à ces résultats. En dehors de ces conditions, le verre éclate à la façon des larmes bataviques. Dans le cas de rupture, les fragments sont toujours disposés symétriquement par rapport au point où l'équilibre a d'abord été rompu. Pour les blocs et les plaques d'une certaine épaisseur, il est extrêmement rare que la trempe soit la même sur les surfaces opposées. Ils se brisent alors en fragments plus ou moins réguliers provenant de l'action des différentes tensions produites par la trempe suivant des directions qui dépendent de la forme du verre et du mode de distribution de la trempe. Avec des plaques très minces, la trempe est plus uniforme, et, la tension étant plus forte suivant les petites dimensions, la brisure est plus régulière. Les fragments sont plus allongés, toujours symétriques par rapport au point qui a reçu le choc déterminant la rupture, et ils présentent souvent des effets de craquelé très remarquables.

» Le verre trempé ne diffère pas par son aspect du verre recuit; cependant on y observe plus fréquemment que dans ce dernier la présence de bulles qui

atteignent parfois un volume considérable. Certains physiciens avaient pensé que ces bulles, qu'on rencontre souvent dans les larmes bataviques, provenaient du retrait du verre intérieur après la solidification par la trempe de la couche extérieure. Ils admettaient que les espaces étaient vides de toute matière pondérable, et ils leur avaient même attribué la cause d'explosion des larmes. On avait cru aussi, ce qui est plus exact, que ces larmes, étant généralement obtenues avec du verre commun et mal affiné, on y retrouvait les bulles provenant de la mauvaise fabrication du verre servant à les préparer. Cependant, comme nous avions remarqué plusieurs fois de grosses bulles dans des blocs trempés de crown et de flint, préparés et affinés avec beaucoup de soin, nous avons étudié de plus près les circonstances dans lesquelles elles se forment, afin d'en trouver la véritable cause.

» Et d'abord l'expérience montre que ces bulles se produisent presque subitement au moment de la trempe dans du verre en apparence homogène. Nous avons constaté ce fait en trempant des masses de flint et de crown dans lesquelles, à première vue, on n'apercevait aucune bulle. Cela se manifeste également dans les grosses boules en verre de Saint-Gobain qui présentent cet aspect.

» Ces boules laissent dégager subitement, au moment de leur brusque solidification à l'air, des bulles assez nombreuses qui restent emprisonnées dans leur masse.

» En second lieu, lorsqu'on recuit ces verres, on reconnaît qu'après le recuit les bulles semblent avoir disparu ; mais, en se servant de la loupe, on aperçoit des bulles extrêmement petites à la place des bulles volumineuses qui existaient dans le verre trempé. Le même verre étant trempé de nouveau, les bulles reprennent par la trempe leur volume primitif.

» Nous avons pris un bloc de verre trempé présentant des bulles dont nous avons marqué la place; nous l'avons recuit pour pouvoir le scier. Nous avons séparé ainsi les parties qui contenaient des bulles de celles qui en étaient exemptes; puis nous avons trempé de nouveau les différents fragments ainsi obtenus. Les bulles ont reparu dans ceux où elles se trouvaient déjà; mais nous ne sommes jamais parvenus à en produire dans les fragments au milieu desquels une première trempe n'en avait pas développé. Enfin nous mettons sous les yeux de l'Académie une baguette en verre mal affiné, dont une des extrémités a été plus fortement chauffée que l'autre. Cette baguette a été ensuite trempée. Il est facile de constater que, dans la partie la plus fortement trempée, les bulles présentent un volume bien plus considérable que dans la portion qui a été moins trempée.

» Ce sont donc les bulles extrêmement petites provenant des matières gazeuses retenues par le verre qui subissent, par le fait de la trempe, la dilatation énorme qui les amène au volume qu'on observe dans le verre trempé.

» Or, au moment où le verre se trempe, sa densité diminue et son volume augmente, comme cela aurait lieu sous l'influence d'une traction considérable exercée sur sa surface. C'est sous l'influence de cette traction, qui produit sur ces bulles gazeuses le même effet qu'une diminution de pression, qu'a lieu leur dilatation. Des bulles à peu près sphériques acquièrent ainsi un diamètre au moins douze fois plus grand, ce qui correspond à un volume au moins de dix-

sept cents à dix-huit cents fois plus considérable; et, par suite, si la loi de Mariotte est applicable dans ce cas, à une pression dix-sept cents à dix-huit cents fois plus faible. »

CHALEUR SPÉCIFIQUE, DILATATION, RETRAIT, RECUISSON DU

Chaleur spécifique. — Les relations entre les propriétés physiques et la composition chimique des verres ont fait, dans ces dernières années, l'objet d'importants travaux parmi lesquels il convient de mentionner les recherches du laboratoire de verrerie pratique d'Iéna.

Citons d'abord les déterminations des chaleurs spécifiques de verres de compositions diverses exécutées par Winkelmann. La part de chacun des constituants a été fixée de telle sorte que, connaissant la composition d'un verre, il est facile, grâce aux formules et aux tableaux de l'auteur, de calculer la chaleur spécifique correspondante.

En prenant comme base la chaleur atomique de l'oxygène dans ses combinaisons solides, l'auteur a calculé les chaleurs spécifiques des divers composants du verre. Il a trouvé :

CHALEURS SPÉCIFIQUES.

ZnO	0,1248	Oxyde de manganèse	0,1661
Al^2O^3	0,2074	Soude	0,2674
Silice	0,1913	Potasse	0,1860
Acide arsénieux	0,1276	Chaux	0,1903
PbO	0,0512	Acide phosphorique	0,1902
MgO	0,2439	Acide borique	0,2272
BaO	0,0673		

En portant ces valeurs dans la formule

$$C' = \frac{p_1 k_1 + p_2 k_2 + p_3 k_3 \ldots}{p_1 + p_2 + p_3}$$

C' étant la chaleur spécifique cherchée, $p_1\, p_2$ les poids relatifs des constituants du verre, $k_1\, k_2$ les chaleurs spécifiques des constituants, on a obtenu, pour les différents verres ci-après, la chaleur spécifique calculée C' qui se rapproche beaucoup de la chaleur spécifique observée directement :

	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	Nº 9	Nº 10	Nº 11	Nº 12	Nº 13	Nº 14	Nº 15	Nº 16	Nº 17	Nº 18
Silice.	»	»	64,4	53,0	71,0	67,3	73,8	67,9	»	58,7	»	51,3	»	»	34,2	»	15,2	22,0
Acide borique. . .	71,8	69,1	12,0	»	14,0	2,0	»	»	3,0	»	41,0	14,0	3,0	3,0	10,2	12,8	16,0	»
Acide phosphorique	»	»	»	»	»	»	»	»	70,5	»	»	»	59,4	56,0	»	»	»	»
Oxyde de zinc.	»	»	»	»	»	7,0	5,0	5,8	»	»	59,0	5,0	»	»	7,8	»	»	»
Oxyde de plomb. .	»	»	»	»	»	»	»	8,1	»	»	»	»	»	»	»	52,0	»	78,0
Magnésie. . .	»	»	11,0	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Alumine . . .	22,4	18,0	4,5	17,0	5,0	2,5	3,5	1,0	10,0	»	»	4,5	8,0	1,5	5,0	5,0	»	»
Acide arsénieux. .	»	0,2	»	»	»	»	»	0,3	0,5	0,3	»	0,2	1,5	1,5	0,7	0,2	0,2	»
Baryte	»	4,7	»	»	»	»	»	»	»	»	»	25,0	28,0	38,0	12,1	»	»	»
Soude	»	8,0	8,0	14,0	10,0	14,0	10,5	16,8	»	»	»	»	»	»	»	»	1,0	»
Potasse. . . .	»	»	»	14,0	»	»	»	»	12,0	33,0	»	»	»	»	»	»	7,5	»
Lithine. . . .	5,8	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Chaux	»	»	»	»	»	7,0	7,0	»	»	8,0	»	»	»	»	»	»	»	»
Chaleur spécifique { observée	0,2318	0,2182	0,208	0,201	0,203	0,198	0,19	0,190	0,190	0,187	0,164	0,161	0,158	0,146	0,139	0,136	125,0	0,081
Chaleur spécifique { calculée.	0,2115	0,219	0,208	0,201	0,204	0,198	0,196	0,188	0,194	0,189	0,166	0,162	0,157	0,144	0,138	0,134	0,127	0,082
Poids spécifique. .	2,23	2,24	2,42	2,48	2,37	2,58	2,48	2,63	2,59	2,58	2,52	2,80	3,07	3,23	3.54	3,69	3,58	5,83
Produit S×C.	0,51	0,48	0,50	0,50	0,48	0,51	0,48	0,50	0,49	0,47	0,57	0,46	0,49	0,47	0,49	0,50	0,45	0,47

Abstraction faite du verre nº 1, à base de lithine, on voit que la chaleur spécifique d'un verre peut se calculer au moyen des chaleurs spécifiques des constituants avec une assez grande approximation, l'erreur moyenne étant à peine de 1 p. 100.

Dilatation. — Soumis à l'action d'un refroidissement lent et bien progressif, le verre se comporte de façon identique aux métaux. Les molécules se resserrent pour atteindre un état d'équilibre d'autant plus parfait que le refroidissement s'est produit avec plus de lenteur.

Des mouvements moléculaires de sens inverse se produisent sous l'action d'une élévation de température et ils se manifestent bien avant que le verre ait atteint l'état pâteux. A des températures comprises entre 200 degrés et 400 degrés, la dilatation a déjà une importance telle, qu'on a dû s'en préoccuper et en tenir compte dans certaines applications du verre, comme la fabrication des thermomètres, des aréomètres, etc.

L'amplitude des mouvements moléculaires est d'ailleurs variable avec la composition du verre.

On a trouvé comme valeur du coefficient de dilatation linéaire

Verre ordinaire en règles.	0,000008613
Verre à glaces de Saint-Gobain.	0,000008909
Flint.	0,000008167

Les valeurs du coefficient de dilatation cubique sont les suivantes :

Verre blanc de soude	0,000025839
— de potasse.	0,000022850
— en tubes	0,000026480
— en boules de 5 centimètres.	0,000025920
Verre vert en tubes	0,000022990
Verre à vitres ordinaire.	{ 0,000024310 0,000027580
Cristal de Choisy-le-Roi.	0,000022800

Les nombreuses déterminations qui ont été faites du coefficient de dilatation de différents verres, ont permis de reconnaître combien ce coefficient varie avec la nature du verre. Les alcalis, notamment, ont une influence considérable. En augmentant la dose de l'alcali dans un verre, on peut communiquer à celui-ci un coefficient de dilatation presque voisin de celui du fer ou du nickel. Par contre, les oxydes métalliques, chaux, baryte, oxyde de zinc, alumine, litharge, n'exercent qu'une influence peu marquée sur le coefficient de dilatation, ainsi qu'on peut le voir par la comparaison ci-après :

	I.	II.
Silice	54,22	28,36
Acide borique	1,50	»
Potasse	8,00	2,50
Soude	3,00	»
Oxyde de plomb	33,00	69,00
Oxyde de manganèse	0,08	0,04
Acide arsénieux	0,20	0,10
	100,00	100,00

Coefficient de dilatation pour 1 degré centigrade entre les températures 18 et 95 degrés. . . . 0,00002377, 0,0000241

Les verres phosphatés ne diffèrent pas beaucoup au point de vue de la dilatation, des verres siliciques. Les verres boratés se distinguent au contraire par leur faible dilatation.

Le verre ci-après au borate de zinc, sans alcali, est celui qui se dilate le moins. Il a pour composition :

Acide borique	59,00
Oxyde de zinc	41,00

Son coefficient de dilatation est seulement de 0,00001097.

Nous donnons dans le tableau ci-après le résumé des expériences qui ont été faites par M. Schott.

La plupart des essais ont été exécutés par la méthode Fizeau modifiée par Abbe, les autres par le procédé du dilatomètre, sorte de thermomètre à poids dont l'enveloppe est constituée par le verre dont on veut étudier la dilatation.

Cette dernière méthode est beaucoup moins précise que la précédente parce que la dilatation cherchée est obtenue par la différence de deux quantités dix fois plus grandes : la dilatation vraie et la dilatation apparente du mercure.

N° d'ordre.	DÉSIGNATION.	COMPOSITION chimique.	MÉTHODE de recherche.	REFROIDISSEMENT.	INTERVALLE de température observé.	COEFFICIENT de dilatation 3 α pour 1° centigr.	REMARQUES.	MESURE effectuée par MM.
1	Zinc et acide borique (sans alcalis).	ZnO . . 59 B^2O^3. . 41	Abbe-Fizeau.	recuit délicatement au thermo-régulateur.	10°.35 — 92°.88	0.00001097	Fondu au creuset de platine. Ne peut se travailler à la canne.	Pulfrich.
2	Borosilicate de baryte (sans alcalis).	SiO^2. . 51.22 BaO. . 25 ZnO. . 5 B^2O^3. . 14 Al^2O^3. 4.5 Mn^2O^3. 0.08 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau.	Fortement trempé. Refroidi à l'air.	12°.67 — 89°.78	0.00001375	Peut se travailler à la canne et à la lampe.	Pulfrich.
3	Borosilicate Flint léger.	SiO^2. . 32.75 B^2O^3. . 31 PbO. . 25 Al^2O^3. 7 K^2O. . 3 Na^2O. 1 Mn^2O^3. 0.05 As^2O^5. 0 2	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	7°.16 — 91°.8	0.00001570	Indice de réfraction pour D = 1.545.	Pulfrich.
4	Borate de plomb.	B^2O^3. . 56 PbO. . 32 Al^2O^3. 12	Abbe-Fizeau et Dilatomètre.		0° — 100°	0.00001610	Indice de réfraction pour D = 1.573	Weidmann.
5	Borate d'alumine.	B^2O^3. . 64 Al^2O^3. 30 Li^2O. . 6	Abbe-Fizeau et Dilatomètre.	Recuit délicatement.	0° — 100°	0,00001680		Weidmann.
6	Borosilicate. Verre à thermomètre.	SiO^2. . 71.95 B^2O^3. . 12 Na^2O. . 11 Al^2O^3. 5 Mn^2O^3. 0.05	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	0.0000177	Se travaille à la lampe.	Winkelmann.
7	Borosilicate. Verre à thermomètre.	SiO^2. . 71.95 B^2O^3. . 12 Na^2O. . 11 Al^2O^3. 5 Mn^2O^3. 0.05	Dilatomètre.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	0° — 100°	*a*) 0.0000172 *b*) 0.0000170	On s'est servi du même vase que précédemment.	Winkelmann.
8	Borate. Crown léger.	Bo^3H^3. 69.1 Al^2O^3. 18 BaO. . 4.7 Na^2O. . 8 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	14°.4 — 94°.4	0.00002021	Indice de réfraction pour D = 1.507.	Pulfrich.
9	Silicate. Flint ordinaire.	SiO^2. . 47.15 PbO. . 46.7 K^2O. . 6 Na^2O. . 0.5 Mn^2O^3. 0.05 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	0° — 100°	0.00002193	Indice de réfraction pour D = 1.613.	Weidmann.
10	Silicate. Flint ordinaire.	SiO^2. . 45.15 PbO. . 46.4 K^2O. . 7.5 Na^2O. . 0.2 Al^2O^3. 0.5 Mn^2O^3. 0.05 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau	Recuit ordinairement au four à refroidir.	15°.7 — 92°.2	0.00002363	Indice de réfraction pour D = 1.612.	Pulfrich.

N° d'ordre	DÉSIGNATION.	COMPOSITION chimique.	MÉTHODE de recherche.	REFROIDISSEMENT.	INTERVALLE de température observé.	COEFFICIENT de dilatation 3 α pour 1° centigr.	REMARQUES.	MESURE effectuée par MM.
11	Silicate. Flint léger.	SiO^2 . . 54.22 B^2O^3 . . 1.5 PbO . . 33 K^2O . . 8 Na^2O . . 3 Mn^2O^3. 0.08 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	12°.9 — 97°.6	0.00002377	Indice de réfraction pour D = 1.571.	Pulfrich.
12	Silicate de baryte. Crown lourd.	SiO^2 . . 48.73 B^2O^3 . . 3 BaO . . 29 ZnO . . 10.3 K^2O . . 7.5 Na^2O . . 1 Mn^2O^3. 0.07 As^2O^5. 0.4	Abbe-Fizeau.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	18°.9 — 93°.1	0.00002379	Indice de réfraction pour D = 1.572.	Pulfrich.
13	Borosilicate. Crown.	B^2O^3 . . 10 K^2O . . 9.5 Na^2O . . 10 ZnO . . 2 Mn^2O^3. 0.06 As^2O^5. 0.2	Abbe-Fizeau.	Recuit délicatement au thermo-régulateur.	17°.5 — 94°.9	0.00002393	Indice de réfraction pour D = 1.513.	Pulfrich
14	Silicate. Flint lourd.	SiO^2 . . 28.36 PbO . . 69 K^2O . . 2.5 Mn^2O^3. 0.04 As^2O^5. 0.1	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	19°.8 — 94°.5	0.00002410	Indice de réfraction pour D = 1.754.	Pulfrich.
15	Verre de thermomètre normal.	SiO^2 . . 67.3 B^2O^3 . . 2 Na^2O . . 14 Al^2O^3 . 2.5 CaO . . 7 ZnO . . 7 Mn^2O^3. 0.2	Abbe-Fizeau.	Recuit ordinairement au four à refroidir.	14°.6 — 92°.2	0.00002406	Indice de réfraction pour D = 1.527.	Pulfrich.
16	Verre de thermomètre. normal.	SiO^2 . . 67.3 B^2O^3 . . 2 Na^2O . . 14 Al^2O^3 . 2.5 CaO . . 7 ZnO . . 7 Mn^2O^3. 0.2	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	0.0000244	Se travaille à la lampe.	Winkelma
17	Silicate. Crown.	SiO^2 . . 69 K^2O . . 16 Na^2O . . 4 CaO . . 8 B^2O^3 . . 2.5 As^2O^5. 0.4 Mn^2O^3. 0.1	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	*a*) 4°.85 — 18°.7 *b*) 18°7 — 90°.5	*a*) 0.00002583 *b*) 0.00002651	Indice de réfraction pour D = 1.517.	Pulfrich.
18	Phosphate. Crown moyen.	P^2O^5 . . 59.5 B^2O^3 . . 3 BaO . . 28 Al^2O^3 . 8 As^2O^5. 1.5	Abbe-Fizeau.	Refroidissement lent.	20°.3 — 92°.2	0.00002613	Indice de réfraction pour D = 1.555.	Pulfrich.
19	Flint barytique léger.	SiO^2 . . 51.65 PbO . . 10 BaO . . 20 K^2O . . 9.5 Na^2O . . 1.5 ZnO . . 7 As^2O^5. 0.03 Mn^2O^3. 0.05	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	9°.95 — 93°.3	0.00002701	Indice de réfraction pour D = 1.572.	Pulfrich.

N° d'ordre.	DÉSIGNATION.	COMPOSITION chimique.	MÉTHODE de recherche.	REFROIDISSEMENT.	INTERVALLE de température observé.	COEFFICIENT de dilatation 3 α pour 1° centigr.	REMARQUES.	MESURE effectuée par MM.
20	Crown à grande dispersion.	SiO^2 . . 68.06 Na^2O . . 16.5 PbO . . 13.15 ZnO . . 2 As^2O^5 . 0.2 Mn^2O^3. 0.09	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	15°.65 — 94°.2	0.00002709	Indice pour D = 1.522.	Pulfrich.
21	Silicate. Crown ordinaire.	SiO^2 . . 68.07 K^2O . . 16 Na^2O . . 5 ZnO . . 7 B^2O^3 . . 3.5 As^2O^3 . 0.4 Mn^2O^3. 0.03	Abbe-Fizeau.	Refroidissement lent au thermo-régulateur.	17°.9 — 97°.2	0.00002748	Indice de réfraction pour D = 1.511.	Pulfrich.
22	Silicate. Crown ordinaire.	SiO^2 . . 68.07 K^2O . . 16 Na^2O . . 5 ZnO . . 7 B^2O^3 . . 3.5 As^2O^3 . 0.4 Mn^2O^3. 0.03	Abbe-Fizeau.	Fortement trempé.	17°.3 — 95°.1	0.00002895	Le refroidissement se fait à l'air libre. Baguette cylindrique.	Pulfrich.
23	Phosphate. Crown léger.	P^2O^5 . . 70.5 B^2O^3 . . 3 K^2O . . 12 Al^2O^3 . 10 MgO . . 4 As^2O^5 . 0.5	Abbe-Fizeau.	Refroidissement lent au thermo-régulateur.	17°.7 — 92°.7	0.000027918	Indice de réfraction pour D = 1.517.	Pulfrich.
24	Verre. Silicate de plomb très lourd.	SiO^2 . . 20 PbO . . 82 As^2O^5 . 0.1	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	24°.5 — 84°.0	0.00002801	Indice de réfraction pour D = 1.962.	Pulfrich.
25	Verre tendre de [illegible]inge.	Non déterminée.	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	0° — 100°	0.00002814	Se travaille à la lampe.	Weidmann.
26		SiO^2 . . 73.1 Na^2O . . 18 5 CaO . . 8 As^2O^5 . 0 3 Mn^2O^3. 0.1	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	a) 0.0000289 b) 0.0000290		Winkelmann.
27	Silicate. Crown ordinaire.	SiO^2 . . 65.4 K^2O . . 15 Na^2O . . 5 BaO . . 9.6 ZnO . . 2 B^2O^3 . . 2.5 As^2O^5 . 0.4 Mn^2O^3. 0.1	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	17°. — 95°.5	0.00002894	Indice de réfraction pour D = 1.517.	Pulfrich.
28	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 64.22 K^2O . . 20 Na^2O . . 3 CaO . . 11 Al^2O^3 . 1.5 As^2O^5 . 0.2 Mn^2O^3. 0.08	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	a) 0.0000292 b) 0.0000292	Ces verres sont en partie hygroscopiques et, par suite, ne sont pas d'un emploi pratique.	Straubel.

N° D'ORDRE.	DÉSIGNATION.	COMPOSITION chimique.	MÉTHODE de recherche.	REFROIDISSEMENT.	INTERVALLE de température observé.	COEFFICIENT de dilatation 3 α pour 1° centigr.	REMARQUES.	MESURE effectuée par MM.
29	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 71 5 K^2O . . 13 Na^2O . . 10 CaO . . 3 Al^2O^3 . 2 AsO^5 . . 0.3 Mn^2O^3. 0 2	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	*a*) 0.0000300 *b*) 0.0000300	Ces verres sont en partie hygroscopiques et par suite ne sont pas d'un emploi pratique.	Straubel.
30	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 54 6 K^2O . . 11.5 Na^2O . . 6 Al^2O^3 . 2.5 P^6O . . 25 As^2O^5 . 0.2 Mn^2O^3. 0 2	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	*a*) 0.0000305 *b*) 0.0000304		Straubel.
31	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 69 5 K^2O . . 25 CaO . . 5 As^2O^5. 0 3 Mn^2O^3. 0.2	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	*a*) 0 0000305 *b*) 0.0000305		Straubel.
32	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 64.1 K^2O . . 15 Na^2O . . 9 CaO . . 9 Al^2O^3 . 2.5 As^2O^5 . 0 2 Mn^2O^3. 0.15	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	*a*) 0.0000312 *b*) 0.0000314		Straubel.
33	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 58.7 K^2O . . 14 Na^2O . . 10 Al^2O^3 . 4 P^6O . . 6 ZnO . . 8 As^2O^5. 0.2 Mn^2O^3. 0.1	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	*a*) 0.0000324 *b*) 0.0000324		Straubel.
34	Verre. Silicate.	SiO^2 . . 42.9 K^2O . . 11 Na^2O . . 8 PbO . . 34 Al^2O^3 . 4 Mn^2O^3. 0.1	Dilatomètre.	Refroidi à l'air libre.	0° — 100°	0.0000328		Pulfrich.
35	Verre alumineux.	SiO^2 . . 57 K^2O . } 23 Na^2O . } Al^2O^3 . 12 ZnO . 0.5	Abbe-Fizeau.	Refroidissement ordinaire au four à refroidir.	17°.8 — 96°.5	0.00003369	Se travaille à la lampe.	Pulfrich.
36	Silicate. Crown ordinaire.	(Voir n° 27.)	Abbe-Fizeau.	Fortement trempé.		0.00002770	Coéfficients de dilatation apparente.	Pulfrich.
37	Silicate. Crown ordinaire.	(Voir n° 27.) Zone de 15mm de diamètre.	Abbe-Fizeau.	Fortement trempé.		0.00003020	Coefficients de dilatation apparente.	Pulfrich.
38	Silicate. Crown ordinaire.	(Voir n° 27.) D'une bande de 20mm.	Abbe-Fizeau.	Fortement trempé.		0.00003275	Coefficients de dilatation apparente.	Pulfrich.

Comme application de ces travaux sur la dilatation des verres, on peut signaler la fabrication de vases jaugés composés d'un récipient extérieur en verre peu dilatable et d'un vase intérieur en verre plus dilatable, dont les volumes et les coefficients de dilatation soient ainsi choisis, que la capacité intermédiaire reste par compensation indépendante de la température.

Verre combiné. — La connaissance des coefficients de dilatation des différents verres a conduit Schott à une application intéressante : la fabrication de verres spécialement résistants aux chocs et à des changements brusques de température.

Le verre combiné est une sorte de verre durci ; mais au lieu d'être obtenu par un refroidissement brusque, il est fourni par la superposition de deux ou trois sortes de verres à coefficients de dilatation déterminés. Les tensions sont les mêmes dans le verre combiné que dans le verre trempé, c'est-à-dire que les couches superficielles sont en état de compression, tandis que la couche intermédiaire est en état de dilatation. Dans le verre trempé, cet état est obtenu par un refroidissement rapide des couches superficielles, dans le verre combiné, il est le résultat de la superposition de couches d'un verre à faible coefficient de dilatation à un verre fort dilatable.

Des matras en verre combiné remplis d'aniline ou de toluidine bouillante (193-200 degrés centigrades) peuvent être impunément plongés dans l'eau froide. Des tubes indicateurs de niveau maintenus à 200 degrés ne se brisent pas sous l'action d'eau à 10-15 degrés.

Le verre combiné offre un intérêt considérable pour la verrerie de laboratoire.

On a constaté que dans les thermomètres, même les mieux construits, il se produit, sous l'action soutenue de la chaleur, un déplacement du zéro; jusqu'en ces derniers temps, ce déplacement était attribué à la seule contraction de la boule du thermomètre.

M. Crafts a repris l'étude de cette question et a reconnu qu'à cette cause d'erreur, — présentant en somme peu de gravité, car il est facile de la déterminer une fois pour toutes et d'en tenir compte, — il y avait lieu d'en ajouter une autre beaucoup plus importante, qui est la variation du coefficient de dilatation lui-même.

Il en résulte que l'intervalle, entre les deux points fixes, varie d'une façon irrégulière, ce qui rend la graduation inexacte.

Des thermomètres portés à la température de 350 degrés ont eu leur coefficient de dilatation diminué, de sorte que, pendant que le zéro est monté de t°, le point 100 au lieu de se trouver à $100+t$ est monté à $100+t+t'$.

M. Crafts a trouvé pour les valeurs du coefficient de dilatation entre 0 et 100 degrés :

K^1 (Coefficient avant le chauffage). . 0,00002788
K^2 (Coefficient après le chauffage). . . 0,00002743

de 0 à 216 degrés :

$K^1 = 0,00002979$
$K^2 = 0,00002914$.

On a remarqué que les thermomètres dont le réservoir est constitué par une boule soufflée sont, plus que les autres, sujets à ces variations. Ce fait résulte probablement des divers degrés de tension produits dans la boule pendant le soufflage. En raison de la variation des points fixes on a dû, pour les opérations exactes, faire usage de thermomètres à échelle limitée, ne donnant d'indications qu'entre deux points assez rapprochés de l'échelle des températures.

On prévient d'ailleurs ces déplacements du zéro, ou du moins on atténue les variations que nous venons de signaler en recuisant les thermomètres de façon toute spéciale. On les place, alors qu'ils sont encore vides de mercure, dans une enceinte portée à haute température, ou dans un bain de soufre bouillant, et on les laisse à cette température pendant trois, quatre et même huit jours. Par cette recuisson prolongée, les molécules du verre prennent leur position d'équilibre normal. On constate, en effet, que les innombrables anneaux qui apparaissent à la lumière polarisée sur le verre non recuit, ont disparu presque totalement sous l'action prolongée de la chaleur.

Dans la construction des alcoomètres et aréomètres on a, jusqu'en ces dernières années, négligé de tenir compte de la dilatation de la carène, qui modifie le rapport du volume de l'appareil à celui de la tige. On ne se préoccupait pas non plus des efforts capillaires dont la grandeur varie avec la nature de la température du liquide et aussi avec la composition chimique du verre avec son état de poli plus ou moins parfait.

Les études sur la dilatation des verres, les recherches de M. Delachanal sur la tension superficielle et l'application à la détermination de la force capillaire de la méthode élégante et ingénieuse imaginée par MM. Petit et Pinson, ont permis aux constructeurs de donner à leurs densimètres toute la précision que l'on recherche maintenant dans ces instruments (1).

CHAPITRE III

CRISTALLISATION DU VERRE. — DÉVITRIFICATION

Le verre perd sa transparence quand, après l'avoir fondu, on le laisse refroidir très lentement et surtout lorsqu'on le soumet à un ramollissement prolongé. Il se change en une matière presque entièrement opaque, connue sous le nom de *porcelaine de Réaumur*.

La connaissance de la dévitrification du verre doit remonter à des temps très éloignés; car il est presque impossible de ne pas rencontrer du verre dévitrifié dans les creusets que les verriers retirent des vieux fours hors de service. Le refroidissement d'une aussi grande masse de maçonnerie argileuse est nécessai-

(1) Nous regrettons de ne pouvoir nous étendre davantage sur ce sujet, mais nous conseillons au lecteur de se reporter au travail que M. Demichel a publié dans les numéros 8, 10 et 11 du journal *l'Alcool et le Sucre*, année 1895.

rement très lent, de sorte que les restes de verre abandonnés dans les creusets se trouvent dans des conditions toujours favorables à la dévitrification.

La surface d'une masse de verre fondue dans un creuset de verrerie et soumise dans le four même à un refroidissement très lent, se couvre d'une croûte plus ou moins épaisse et opaque, tandis que dans les parties centrales on voit des groupes de cristaux aiguillés partant d'un centre commun et formant des sortes de boules ou mamelons suspendus dans une masse transparente.

Réaumur, qui, à diverses reprises, s'est occupé de la dévitrification, a dirigé plus particulièrement ses recherches vers les moyens de la produire d'une manière complète.

Voici le procédé qu'il a indiqué :

« On mettra dans de très grands creusets, tels que les gazettes des faïenciers par exemple, les ouvrages de verre qu'on voudra convertir en porcelaine. On remplira les ouvrages et tous les vides qu'ils laissent entre eux, de la poudre faite d'un mélange de sable blanc et fin, et de gypse. Il faudra faire en sorte que cette poudre touche et presse les ouvrages de toutes parts, c'est-à-dire que ceux-ci ne se touchent pas immédiatement et qu'ils ne touchent pas non plus les parois du creuset.

» La poudre ayant été bien empilée, bien pressée, on couvrira le creuset, on le lutera et on le portera dans un endroit où l'action du feu soit forte.

» Quand on retirera et qu'on ouvrira la gazette (Réaumur ne dit pas après combien de temps), on verra les objets qu'elle renferme, transformés en une belle porcelaine blanche. »

Comme on le voit, le procédé de Réaumur n'était pas aussi simple que celui dont il a d'abord été question. Il lui fallait nécessairement prendre des dispositions et des précautions particulières pour conserver les formes des objets dont il voulait opérer la dévitrification.

Réaumur considérait le plâtre calciné comme une des matières les plus propres à changer le verre en une porcelaine blanche. Il attribuait au sable cette même propriété, et il ajoutait que le sable très blanc, tel que celui d'Étampes, donne avec le gypse une poudre composée qui doit être employée de préférence au plâtre seul ou au sable seul.

Réaumur croyait que les arts tireraient bientôt un parti avantageux de la dévitrification, que celle-ci était appelée à les doter d'une nouvelle porcelaine.

Les premiers travaux de ce célèbre physicien remontent à 1727, les derniers datent de 1739. Depuis lors, on a essayé plusieurs fois d'introduire la porcelaine de Réaumur dans le domaine de l'industrie. On en a fait des bouteilles, des carreaux d'appartement, des porphyres, des mortiers, des vases de diverses formes, des capsules et des tubes destinés à certaines opérations de chimie. On doit citer particulièrement d'Arcet parmi ceux qui se sont occupés de cette question.

L'expérience n'a pas jusqu'à présent réalisé les espérances de Réaumur

Deux circonstances rendent très difficile la fabrication industrielle, c'est-à-dire économique, des objets façonnés en verre dévitrifié : d'abord et surtout la nécessité de soumettre ces objets à un ramollissement prolongé qui devient un

obstacle considérable à la conservation de leurs formes, et en second lieu la durée de l'opération, qui nécessite des dépenses très considérables de combustible et de main-d'œuvre.

On ne peut pas dire cependant que la porcelaine de Réaumur ne recevra jamais d'applications importantes; dès aujourd'hui, il sera possible de fabriquer des plaques de verre dévitrifié d'un volume assez considérable, imitant la belle porcelaine et pouvant la remplacer avec avantage dans certains cas. Ces plaques, quoique très dures, peuvent être douces et polies comme les glaces.

Les phénomènes chimiques de la dévitrification ne paraissent pas avoir été l'objet d'une étude approfondie. Cependant dans le cours de l'année 1830, M. Dumas ayant fait l'analyse comparative d'un verre cristallisé et d'un verre amorphe et transparent, retirés l'un et l'autre d'un même creuset de verrerie, considéra le premier comme une combinaison définie, plus riche en silice et moins chargée d'alcali que le second, et par conséquent moins fusible. Partant de cette analyse, dont le résultat n'était pas contestable, et qui d'ailleurs cadrait avec les idées émises par Berthollet, dans sa *Statique chimique*, sur les cristaux observés dans le verre par Heir, M. Dumas considéra la dévitrification comme une cristallisation du verre due à la formation de composés définis, infusibles à la température actuelle, au moment de la dévitrification. Il admit que cette infusibilité relative est le résultat tantôt de la volatilisation alcaline, tantôt d'un simple partage dans les éléments du verre, les alcalis passant alors dans la portion qui conserve l'état vitreux.

Toutefois, quelques chimistes, et à leur tête Berzelius, ont émis une opinion différente, partagée d'ailleurs par les verriers en général, et qui consiste à ne voir dans la porcelaine de Réaumur rien autre chose qu'une masse vitreuse cristallisée.

Le verre, en se dévitrifiant, ne subit aucune altération, ni dans la nature, ni dans la proportion des matières dont il est formé. Les cristaux agglomérés en forme de boules, isolées les unes des autres en une masse de verre transparente, ne diffèrent pas de celle-ci quant à leur composition. Cela résulte d'un grand nombre d'analyses de verre cristallisé et de verre transparent.

Il est inutile de dire que, la composition du verre variant sans cesse, non-seulement dans les verreries différentes, mais encore dans la même fabrique, les analyses comparatives n'ont de signification que pour les verres provenant d'une même fonte.

L'analyse chimique est ici corroborée par une observation physique non moins certaine. Si un changement de composition se produisait dans une masse de verre lentement refroidie, il y laisserait des traces de son existence par des bulles, des stries, par un signe quelconque d'hétérogénéité, tandis que les parties modifiées présentent un éclat, une transparence et surtout une homogénéité parfaites.

Mais, de toutes les expériences, la plus simple comme la plus décisive, pour démontrer que la dévitrification consiste uniquement en un simple changement d'état physique du verre, consiste à maintenir des plaques de verre pesées sur la sole d'un four à recuire jusqu'à ce que la dévitrification soit complète, ce qui

a lieu ordinairement après vingt-quatre heures ou au plus quarante-huit heures. Leur poids reste constamment le même, et, si l'on opère sur un verre blanc de belle qualité, il est absolument impossible de distinguer autre chose que des cristaux dans la masse dévitrifiée.

Ces cristaux donnent, par la fusion, un verre transparent, de composition identique à celui dont ils proviennent. Coulé sur une table de fonte, roulé sous la forme d'un morceau de glace, ce verre subit par un ramollissement prolongé une seconde dévitrification. Les mêmes expériences de fusion et de cristallisation ont été répétées une troisième fois sans que la composition du verre opaque ou transparent ait subi le moindre changement. La seconde et la troisième dévitrification s'effectuent d'ailleurs, comme la première, sans aucun changement de poids dans les plaques vitreuses.

La manière la plus facile et la plus simple de préparer le verre dévitrifié consiste à soumettre à un ramollissement prolongé une feuille de verre à vitres ou mieux un morceau de verre à glaces. Au bout d'un temps qui varie selon la nature du verre et la température du lieu où se fait l'expérience, mais qui est en général compris entre vingt-quatre et quarante-huit heures, la dévitrification est achevée. La plaque ressemble à un morceau de porcelaine, mais on l'en distingue facilement quand on la brise. On la voit formée d'aiguilles opaques, ténues et serrées, parallèles les unes aux autres et perpendiculaires à la surface du verre. Si l'on retire la plaque du four à recuire avant que la dévitrification soit complète, on observe constamment que la cristallisation commence par les surfaces, pour se propager lentement jusqu'au centre, de sorte qu'on retrouve encore une lame de verre transparent dans l'intérieur de la plaque.

Une ligne ordinairement très visible marque le point de réunion des cristaux dans les échantillons même complètement dévitrifiés : le long de cette ligne, on remarque quelquefois des noyaux cristallins.

Dans quelques cas rares, la texture fibreuse disparaît et le verre dévitrifié présente jusqu'à un certain point la cassure saccharoïde et l'aspect d'un beau marbre blanc ; quelquefois aussi, les cristaux disparaissent et sont remplacés par une matière qu'on prendrait pour de l'émail.

Le verre à vitres et surtout le verre à bouteilles, dévitrifiés en grandes masses dans des creusets, se présentent parfois en aiguilles d'un jaune verdâtre, tantôt petites et courtes, tantôt au contraire longues de plus de 1 centimètre, fortement adhérentes les unes aux autres, entrelacées dans tous les sens et laissant entre elles des vides ou géodes qui les font ressembler, jusqu'à un certain point, à des cristallisations de soufre.

Le verre dévitrifié est un peu moins dense et plus altérable à l'air et à l'humidité que le verre transparent ; sa dureté est considérable, car il raie facilement ce dernier et fait feu au briquet. Quoique cassant, il l'est beaucoup moins que le verre ordinaire ; il est mauvais conducteur de la chaleur. Une plaque de verre dévitrifié conduit très notablement l'électricité des machines. Elle possède cette propriété à peu près au même degré que le marbre, et à un degré beaucoup plus prononcé que le verre et la porcelaine. Le verre dévitrifié ne pourrait donc pas être employé comme corps isolant.

On croyait que le verre dévitrifié était devenu presque infusible, que des

tubes formés de cette matière se comporteraient presque comme ceux de porcelaine, sous l'influence des hautes températures. Cela n'est pas exact. Le verre cristallisé fond presque aussi facilement que le verre amorphe dont il provient.

Tous les verres à glaces, à vitres et à bouteilles qu'on trouve dans le commerce peuvent être dévitrifiés. Le cristal lui-même, malgré l'assertion contraire de Réaumur, ne fait pas exception, il se dévitrifie sans que l'oxyde de plomb qu'il contient s'en sépare. Il prend l'aspect de la porcelaine, mais sa cassure est lisse, homogène, et on n'y remarque plus la texture fibreuse. On a déjà dit que ce dernier changement se produit quelquefois dans les verres ordinaires à base de soude et de chaux.

Les verres à base de potasse, comme ceux de Bohême, subissent la dévitrification beaucoup plus difficilement que les verres de soude.

On a pu exposer pendant quatre-vingt-seize heures, dans la partie la plus chaude d'une étenderie, le borosilicate de potasse et de chaux sans en déterminer la dévitrification. La température était cependant assez élevée pour ramollir ce verre.

Dans les mêmes conditions, le borosilicate de potasse et de zinc a donné quelques signes de dévitrification.

De tous les silicates, celui qui se dévitrifie le plus facilement, est le trisilicate de soude, $NaO(SiO^3)^3$.

La dévitrification semble rendue beaucoup plus facile par l'introduction de matières réfractaires ou difficilement fusibles dans le verre pâteux, telles que les cendres de foyer, le sable, et, chose bien curieuse, par le verre lui-même réduit en poudre fine, ou par le mélange des matières avec lesquelles on le forme.

L'expérience suivante, faite sur plus de 100 kilogrammes de verre, démontre l'exactitude de cette assertion.

On a laissé dans un four deux pots à moitié remplis de verre fondu, et on a cessé de chauffer ce four : lorsque la matière est devenue pâteuse, on a ajouté dans l'un des pots une *très petite quantité* de matière vitrifiable ; puis, le four s'étant refroidi lentement et de lui-même, on en a retiré les deux pots. Celui dans lequel rien n'avait été ajouté, contenait un verre transparent ayant à peine subi un commencement de dévitrification, tandis que l'autre était presque entièrement opaque et rempli de noyaux cristallins dans toute sa masse.

1 ou 2 centimètres de sable suffisent pour provoquer le même changement dans une masse vitreuse, pourvu que la température de celle-ci ne soit pas trop élevée, ce qu'on reconnaît facilement au peu de fluidité de la matière.

Les verres colorés suivants se dévitrifient comme les verres incolores, sous l'action prolongée de la chaleur : le verre bleu au cobalt ; le verre vert au chrome ; le verre bleu au cuivre ; le verre jaune au charbon ; le verre noir au fer.

Les scories des hauts fourneaux présentent les mêmes phénomènes de dévitrification que les verres.

Les verres riches en chaux et en magnésie sont ceux qui se dévitrifient le plus facilement. Nous avons vu plus haut, en étudiant la fusibilité des silicates,

que les silicates formés de bases multiples étaient les plus fusibles; la magnésie et la chaux concourent à la fusibilité du verre; mais les verres qui contiennent ces bases doivent être travaillés rapidement, on doit même éviter de leur laisser prendre une consistance trop pâteuse résultant de leur refroidissement; car ces verres deviennent *galeux* facilement, premier indice d'un commencement de dévitrification, qu'un réchauffage fait disparaître quand le phénomène a été constaté au début de son apparition.

Un verre à bouteille dévitrifié, obtenu dans un four à creusets, à Aussig, a été examiné par M. Max Groger (1). Ce verre consistait en masses sphériques, cristallines, fibro-radiées, d'un diamètre atteignant jusqu'à $0^m,05$, d'une couleur blanche verdâtre mate, englobées dans une pâte entièrement transparente et d'un vert foncé.

L'une de ces enclaves fut réduite en petits morceaux avec la pâte qui l'entourait et les morceaux dévitrifiés, légèrement translucides et complètement exempts de la pâte environnante, furent seuls soumis à l'analyse; de même, les parties de la pâte examinées étaient celles immédiatement en contact avec les parties dévitrifiées et tout à fait transparentes. Les deux matières furent broyées finement dans un mortier d'agate et rendues chacune aussi homogène que possible. Les poudres ainsi obtenues d'un seul et même morceau de verre furent soumises à tous les essais indiqués ici; elles donnèrent à l'analyse :

	Partie dévitrifiée.	Pâte.	Différence.
	—	—	—
Acide silicique	63,79	64,39	— 0,60
Alumine	7,73	7,42	+ 0,31
Protoxyde de fer	1,39	1,39	+ 0,00
Protoxyde de manganèse	2,49	2,47	+ 0,02
Chaux	13,38	12,81	+ 0,57
Magnésie	0,61	0,73	— 0,12
Soude	9,76	9,78	— 0,02
Potasse	1,52	1,45	+ 0,07
	100,67	100,44	

On voit que la différence entre la composition chimique des deux parties est très faible, ce qui confirme la manière de voir exprimée par Pelouze, savoir : que le verre dévitrifié présente la même composition que la masse dont il provient.

Le verre dévitrifié est un peu plus dur que la pâte, puisqu'il raie celle-ci légèrement; la dureté des deux substances est comprise entre celles du feldspath et du quartz. La densité à 15 degrés prise par rapport à de l'eau à la même température, est de 2,574 pour le verre dévitrifié et de 2,581 pour la pâte Cette dernière est beaucoup plus aisément fusible que le verre dévitrifié; un éclat de $0^m,002$ d'épaisseur tenu sur le bord de la flamme d'un bec Bunsen se fond immédiatement en un globule, lorsque la matière employée est la pâte, tandis que le verre dévi-

(1) Extrait d'un travail de l'auteur dans le *Dingler's Polytechnisches Journal*, reproduit dans le *Bulletin du musée de l'industrie de Belgique*, t. LXXXI, 1880.

trifié doit être chauffé pendant un temps assez long de la même façon avant que les bords aigus s'arrondissent.

L'acide chlorhydrique désagrège en grande partie le verre dévitrifié, ce qui n'arrive pas pour la pâte. 2 grammes de verre dévitrifié en poudre fine furent placés dans une capsule de platine avec 40 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré et chauffé au bain-marie, en maintenant pendant une demi-heure la capsule recouverte d'un verre de montre, puis le liquide fut évaporé jusqu'à siccité et le résidu fut séché dans une étuve à 110 degrés. La matière desséchée fut humectée ensuite d'acide chlorhydrique concentré et chauffée pendant une demi-heure avec de l'eau : la partie restée indissoute et la silice séparée furent filtrées et le liquide fut évaporé ainsi que les eaux de lavage. Le résidu de l'évaporation séché à 110 degrés jusqu'à ce que son poids fût invariable, pesait 0gr,484. 2 grammes de la pâte furent traités exactement de la même façon, dans le même creuset de platine avec 40 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et le résidu de l'évaporation ne pesait que 0gr, 032. Le rapport entre les parties dissoutes par l'acide est donc 0,484 : 0,032 ou 15 : 1 environ.

Cette différence caractéristique conduit tout naturellement à l'idée que le verre dévitrifié est composé de deux parties : l'une qui est attaquable par l'acide chlorhydrique, et l'autre sur laquelle cet acide n'exerce que peu ou pas d'action. Il était donc intéressant de faire l'analyse de la manière suivante : le verre dévitrifié fut mis en digestion à froid pendant douze heures avec l'acide chlorhydrique concentré en le remuant fréquemment, puis on évapora le tout et on sécha pendant un temps très long à 110 degrés afin de séparer l'acide silicique. La masse, humectée au préalable d'acide chlorhydrique concentré, fut reprise par l'eau et filtrée, le résidu fut lavé et chauffé deux fois à l'ébullition dans une grande capsule de platine avec un excès d'une solution de carbonate de soude afin de dissoudre l'acide silicique séparé. Le résidu insoluble, lavé et séché, constituait 77 pour 100 du poids du verre dévitrifié employé. La silice dissoute sous la forme de silicate de soude fut séparée de la manière ordinaire et pesée. Le liquide filtré provenant de la masse dévitrifiée partiellement décomposée par l'acide chlorhydrique fut utilisé pour déterminer les oxydes métalliques passés en solution.

Les résultats complets obtenus sont les suivants :

	Partie non dissoute.	Partie dissoute.	Total.
Acide silicique	51,70	11,90	63,60
Alumine	7,29	0,25	7,54
Protoxyde de fer	1,45	0,26	1,71
Protoxyde de manganèse	2,01	0,06	2,07
Chaux	4,50	8,84	13,34
Magnésie	0,56	0,30	0,86
Soude	8,70	0,81	9,51
Potasse	0,99	0,08	1,07
	77,20	22,60	99,90

Ces chiffres correspondent, on le voit, avec ceux indiqués précédemment.

En multipliant les nombres des deux premières colonnes respectivement par les rapports 100 : 77,20 = 1,295 3 et 100 : 22,50 = 4,444 4 on obtiendra la composition centésimale de la partie non dissoute et de la partie dissoute.

	Partie non dissoute.	Partie dissoute.
	—	—
Acide silicique	66,97	52,89
Alumine	9,44	1,12
Protoxyde de fer	1,88	1,16
Protoxyde de manganèse	2,60	0,27
Chaux	5,83	39,30
Magnésie	0,73	1,33
Soude	11,27	3,57
Potasse	1,28	0,36
	100,00	100,00

Les rapports d'équivalence entre les bases et la silice sont :

Verre dévitrifié	1 : 1,697
Partie non dissoute par l'acide chlorhydrique	1 : 2,011
Partie dissoute	1 : 1,053

La partie dissoute est donc un monosilicate.

Si l'on examine la composition centésimale de la partie dissoute, on reconnaît en outre que, dans le traitement par l'acide chlorhydrique, la quantité de chaux dissoute a été très considérable, tandis qu'il en est autrement pour les autres oxydes métalliques ; on peut donc dire que l'acide chlorhydrique n'a guère dissous que du monosilicate de chaux ($CaO.\ SiO^3$), lequel constitue la substance cristalline enclavée dans la masse amorphe du verre dévitrifié.

On s'expliquera facilement qu'outre la chaux d'autres oxydes métalliques passent également dans la solution, puisqu'on sait que tous les verres sont légèrement attaqués par les acides lorsqu'ils sont pulvérisés très finement : si, d'ailleurs, le rapport des bases à la silice (1 : 1,053) est un peu plus petit que l'unité, cela peut provenir de ce que, en faisant bouillir l'acide silicique séparé avec la solution de carbonate de soude, une petite quantité de silice provenant de la partie du verre restée insoluble peut être passée dans la solution.

Si l'on soustrait de la partie dissoute la quantité de monosilicate de chaux qu'elle renferme, et si l'on ajoute les petites quantités de bases et de silice qui restent aux quantités correspondantes du résidu insoluble, on trouvera que la composition du verre dévitrifié est la suivante :

Monosilicate de chaux ($CaO.SiO^3$)	18,32
Masse vitreuse amorphe	81,68
	100,000

Cette dernière contient :

Acide silicique	66,51
Alumine	9,27
Protoxyde de fer	2,10
Protoxyde de manganèse	2,54
Chaux	5,53
Magnésie	1,06
Soude	11,68
Potasse	1,31
	100,00

L'examen chimique de l'auteur donne donc des résultats qui concordent avec ceux obtenus par Schott au microscope, ce qui confirme aussi cette opinion, admise par les fabricants de verre, que ce sont surtout les verres contenant beaucoup de chaux qui se dévitrifient le plus aisément.

On comprend facilement que le verre dévitrifié présente la même composition que la masse qui l'entoure, si l'on réfléchit que la cristallisation du silicate de chaux a lieu dans une masse pâteuse peu fluide, de sorte qu'un mélange entre l'eau mère (si l'on peut employer ce mot ici) et la masse de verre fondue non encore dévitrifiée qui l'entoure ne peut avoir lieu ou bien ne se produit que dans une très faible mesure. Cette eau mère adhère donc après la solidification à chacun de ces cristaux microscopiques et l'analyse du verre dévitrifié doit donner la même composition élémentaire qu'avant la dévitrification.

Il semble donc résulter de ces recherches que la dévitrification ne constitue pas seulement, comme l'admet Pelouze, un simple changement moléculaire analogue à la transformation de l'acide arsénieux amorphe en sa modification cristalline, mais qu'elle repose sur une désunion du mélange de la masse du verre, laquelle donne lieu, spécialement dans les verres à la chaux et à la soude, à une cristallisation de monosilicate de chaux. Ceci jette aussi un certain jour sur la nature du verre; car, si le silicate de chaux cristallise par refroidissement lent de la masse de verre fondue, il a dû exister dissous en cet état dans la masse, ce qui donne beaucoup de vraisemblance à cette hypothèse, d'après laquelle les verres seraient non pas des combinaisons chimiques, mais des solutions de silicates cristallisés dans des silicates amorphes ou des alliages.

Le phénomène de la dévitrification n'est d'ailleurs pas isolé et il trouve, par exemple, son analogue dans le pattinsonage que l'on peut appeler la désunion d'un alliage de plomb et d'argent, puisque, si l'on maintient cet alliage à une certaine température, il s'en sépare des cristaux de plomb solides, tandis qu'il reste comme eau mère un alliage de plomb et d'argent fondu.

CHAPITRE IV

Action de la lumière solaire sur le verre. — La lumière solaire change la couleur du verre; dès 1863, M. Gaffield, de Boston, préoccupé de cette question, commença une série d'expériences qui furent continuées jusque dans ces derniers temps.

Les écrits anciens ne font pas mention de cette altération; ce n'est guère qu'au début du dix-neuvième siècle qu'on observa ce phénomène en Europe, sur des plaques de verre dont les unes, légèrement colorées, étaient passées au poupre et d'autres à la teinte jaunâtre. En 1823 et 1824, Faraday, Bontemps, Fresnel firent quelques essais constatant que la lumière solaire produisait ce changement de couleur.

Melloni et Hunt, par d'autres expériences, démontrèrent le rôle que jouent les verres de différentes couleurs dans la transmission de la lumière et de la chaleur. Pelouze fit part à l'Académie des sciences de quelques observations sur ce sujet (*Comptes rendus*, 14 janvier 1867).

Les expériences de M. Gaffield, étendues, originales, s'appliquaient aussi bien aux verres colorés qu'aux verres non colorés. Par verres colorés, on entendait ceux qui, à l'aide d'un oxyde métallique fabriqué intentionnellement, paraissent colorés par transparence; par verres non colorés, ceux qui paraissent incolores par transparence.

M. Gaffield prit pour champ d'expériences la toiture à châssis vitrés de son habitation de Boston. Cette toiture, vaste plate-forme, exposée toute l'année aux rayons solaires, comme aux intempéries, était parfaitement disposée pour ces observations.

Le changement de couleur se développe lentement avec certaines espèces de verres, il est très rapide avec d'autres verres, si rapide quelquefois qu'une heure d'exposition suffit pour le rendre appréciable par l'exposition aux chauds et vifs rayons du soleil d'août. Les plaques de verre exposées avaient généralement 4 pouces sur 2 et quelquefois 4 sur 18; leur épaisseur variait de 1/6 de pouce à 1 pouce.

Quatre-vingts sortes de verres, d'origine américaine, française, anglaise, belge, allemande, y compris des plaques brutes et dépolies, ont été ainsi exposées pendant des périodes variant de une heure à treize années. Plus de mille chantillons nous ont été montrés. On a exposé en outre des verres d'optique, des flint-glass et du crown, plus de soixante-dix feuilles de verres colorés, de couleurs et de teintes différentes, des vitraux de cathédrale qui montraient non seulement les couleurs principales du spectre, — rouge, orangé, jaune, vert, bleu et violet, — mais encore des teintes intermédiaires, telles que le brun, l'olive, l'améthyste, la couleur de chair (1).

(1) M. Gaffield a fait une communication à ce sujet à l'Association américaine pour l'avancement des sciences, à Boston, le 27 mars 1880. La plupart des détails de ce travail si intéressant sont consignés jusqu'à l'année 1867 dans le *Sillimann's Journal*.

Pour le verre incolore au moment de l'exposition, on a constaté les transitions de teintes suivantes :

1° Du blanc au jaunâtre ;

2° Du verdâtre au vert jaunâtre ;

3° Des teintes jaune brun et verdâtre à diverses teintes de pourpre ;

4° Du blanc verdâtre au bleuâtre ;

5° Du bleuâtre et d'autres teintes à des teintes plus foncées des mêmes couleurs.

Les verres non recuits peuvent changer de coloration comme les verres recuits.

Les verres d'optique, dans lesquels il entre de l'oxyde de plomb (flint-glass), sont à peu près inaltérables. Tous ces verres, incolores au début de ces expériences, colorés par leur exposition au soleil, peuvent être ramenés à leur état normal en passant au four à recuire. Une seconde exposition à la lumière reproduira les phénomènes précités. Pelouze, en 1867, signala cette propriété remarquable ; le professeur Percy signala le même fait à la même époque.

Verres colorés dans leur masse. — Les couleurs principales, à l'exception du violet qui est rendu un peu plus sombre par l'exposition, ne sont nullement altérées, mais les changements suivants sont remarquables :

1° Les teintes brunâtres deviennent couleur chair ;

2° La couleur chair passe aux teintes pourpre ou violet ;

3° L'ambre, l'olive et le pourpre prennent des teintes plus foncées des mêmes couleurs.

Si l'on enlève le mastic qui protège les bords des carreaux teintés en pourpre, on peut observer la couleur primitive du verre. En passant au four à recuire des échantillons de vitraux de la cathédrale de Strasbourg et d'ailleurs, les teintes se foncèrent, mais les couleurs ne se changèrent pas au point d'indiquer d'altérations qui se seraient produites par l'exposition aux rayons solaires. Il est évident que nous ne voyons plus aujourd'hui les verres des vieux vitraux avec les teintes qu'ils avaient au moment de leur fabrication ; le soleil, les intempéries, ont à la longue affaibli ces teintes. Ces verres qui nous paraissent parfaits, doivent probablement une partie de leur supériorité à une épaisseur inégale, aux défauts de leur surface, sculptés qu'ils sont par la dent du temps. Chaque petite ondulation, chaque raie, deviennent par interférence, des points à réfraction et à réflexion où la lumière se joue, et, par suite, une nouvelle source de cet éclat, de cette harmonie et de cette beauté qui distinguent les verres peints des anciens temps.

Les verriers de Berkshire et d'Angleterre visent à reproduire, ou tout au moins à se rapprocher de la perfection de ces verres anciens en copiant les imperfections propres aux vitraux des antiques cathédrales, qu'imitent si largement de nos jours les artistes et les architectes.

Comment expliquer chimiquement cette remarquable action du soleil ?

Généralement on attribue à la présence de l'oxyde de manganèse dans les verres le pouvoir de communiquer ces colorations diverses.

Sans garantir l'infaillibilité de l'explication habituelle, n'en ayant pas une

contraire à exposer, nous résumons ce qui a cours jusqu'ici. Les matières premières de la vitrification ne sont pas chimiquement pures, elles contiennent toutes de l'oxyde de fer.

Le protoxyde de fer donne au verre une teinte vert bleuâtre, le peroxyde le colore très peu et lui donne une teinte jaunâtre. Les deux oxydes existent généralement dans ces matières et produisent alors les couleurs verdâtres habituelles au verre du commerce.

Pour corriger un peu cette coloration on ajoute aux matières vitrifiables un peu d'oxyde de manganèse, *savon des verriers*. Cet oxyde de manganèse qui, à son maximum d'oxydation, colore le verre en violet, à mesure qu'il perd son oxygène, perd également son pouvoir colorant. Or pendant la fusion, ou plutôt l'affinage du verre, cet oxyde de manganèse peroxyde tout le fer qui se trouvait aux deux états d'oxydation et colore alors le verre en jaune. Cette couleur jaune est complémentaire à tout ce qui reste de pouvoir colorant dans le manganèse, et se trouve neutralisée, le verre est incolore. Lorsque la lumière solaire vient frapper ce verre, elle exerce une action réductrice sur l'oxyde le moins chargé d'oxygène, celui qui est en moindre proportion, et l'oxyde opposé profite de cette élimination pour se peroxyder; de là certaines colorations tantôt jaunâtres, tantôt verdâtres, dans des échantillons de même provenance.

Pour peroxyder les sels de fer il serait alors préférable d'employer un oxyde métallique sans action colorante, l'oxyde de zinc par exemple. On a du reste renoncé à l'emploi de l'oxyde de manganèse comme *savon des verriers*. Ces études de M. Gaffield ont une réelle importance; elles ont permis de modifier les compositions vitrifiables, afin d'éviter un changement des teintes du verre, changement qui pourrait avoir de graves inconvénients, notamment pour les photographes, chez lesquels un verre insolé, jauni, c'est-à-dire ayant perdu une grande partie de sa puissance à transmettre l'action chimique de la lumière solaire, deviendrait ainsi aussi inactif qu'un verre à surface dépolie émaillée.

Athermanisme du verre. — On sait que toute source incandescente émet deux sortes de radiations lumineuses et calorifiques. On a cherché souvent, et il y a intérêt à trouver dans bien des cas, le moyen d'absorber les radiations calorifiques, tout en laissant passer les radiations lumineuses.

On s'est servi à cet effet d'une solution d'alun, qui passe pour absorber toute la partie obscure du spectre; on a reconnu depuis que la réputation de ce liquide était usurpée et que l'eau pure était un absorbant au moins aussi efficace.

En ce qui concerne les verres, il y avait lieu de rechercher si certaines colorations obtenues par l'introduction d'oxydes métalliques dans leur composition ne produirait pas l'effet désiré; on pouvait se demander en même temps si la composition d'un verre même non coloré, suivant la nature des éléments composants ou suivant leurs proportions, ne posséderait pas à un degré plus ou moins élevé cette propriété intéressante.

Les verres colorés par l'oxyde d'urane à faible dose (1 pour 100), donnant par suite une coloration peu intense à l'épaisseur à laquelle sont travaillés les

verres pour la lunetterie, ont été regardés comme absolument efficaces et propres à protéger, par exemple, les yeux des explorateurs appelés à voyager pendant de longues heures au milieu des sables brûlants du désert.

Les expériences directes entreprises par nous et par M. le Dr Hubert n'ont pas confirmé l'existence de cette propriété, même sous une épaisseur plus grande que celle adoptée pour la lunetterie.

M. Zsigmondy a, dans un travail récent, repris la question au point de vue de l'influence de la composition élémentaire du verre et, se basant sur les propriétés que possédaient soi-disant les solutions d'alun dont il a été déjà parlé, il a recherché si l'introduction de l'alumine dont le verre ne produirait pas un effet analogue; les résultats qu'il a obtenus semblaient confirmer cette présomption, quand il s'est aperçu que le fer, dont il est si difficile d'éviter la présence dans les compositions vitrifiables, paraissait avoir une influence considérable et que, en réalité, les résultats intéressants obtenus étaient dus à la présence de ce dernier métal. Ils ont été corroborés par les observations faites ultérieurement par lui sur les sels de fer doubles. presque incolores, tels que le sulfate ferro-ammoniacal, d'après lesquelles le pouvoir absorbant ainsi donné ne dépend que de la quantité de fer en solution et nullement du corps auquel il est combiné.

Le tableau suivant indique la proportion de chaleur émanée d'une lampe d'Argand dont les rayons traversent une cuve remplie successivement d'eau et de diverses solutions de sels de fer.

D'après le même expérimentateur, les verres contenant du sesquioxyde de fer seraient encore plus athermanes que les solutions de sels ferreux; ainsi, tandis que, sous une épaisseur de 7 à 8 millimètres, le verre à miroir laisse passer plus de 60 pour 100 de la radiation d'une lampe d'Argand, un crown contenant 1 pour 100 de sesquioxyde de fer arrêterait 99,3 pour 100 de la radiation, et l'on ne constaterait aucune chaleur appréciable derrière un écran de 8 millimètres formé du même verre, contenant 2 pour 100 du même oxyde.

	Cuve de 9,5 millimètres.		Cuve de 24 millimètres.	
Teneur en fer °/°.	Chlorure de fer.	Sulfate de fer.	Chlorure de fer.	Sulfate de fer.
—	—	—	—	—
1,4	6,7	6,7	2,7	2,6
0,7	8,9	8,9	4,5	4,5
0,55	10,3	10,3	6,2	6,1
0,175	10,9	10,9	7,2	7,2
0,000	12,2	12,2	8,6	8,6

Les observations auxquelles nous nous sommes livrés, il y a plusieurs années, à la suite d'accidents survenus en Angleterre, et sur la cause desquels nous avions été consultés, confirment sur certains points les conclusions de M. Zsigmondy; elles nous ont permis de préciser, de plus, les conditions dans lesquelles le fer agissait étant incorporé dans le verre, ainsi que les causes qui produisent ce phénomène d'athermanisme.

Il en résulte en effet que cette propriété, donnée au verre par le fer, est variable selon l'état d'oxydation dans lequel il se trouve et que, même en

proportion très faible, et c'est évidemment là où est le véritable intérêt de ces études, des verres étaient athermanes quand le fer s'y trouvait à l'état de sesquioxyde, tandis que des verres de même composition élémentaire, et dans lesquels le fer entrait en mêmes proportions, mais à l'état de protoxyde et par conséquent notablement plus coloré, puisque le sesquioxyde de fer et le protoxyde de fer colorent le verre dans la proportion de 1 à 2 1/2, étaient diathermanes.

Voici l'explication que nous avons cru pouvoir en donner :

La coloration en vert jaune bouteille donnée par le fer, correspond à son introduction dans une composition de nature oxydante; par suite, tous les oxydes des métaux qui peuvent s'y être adjoints, et en particulier le manganèse,— et, quelque faible qu'en soit la proportion, il en existe toujours, ne serait-ce qu'à l'état de traces,— sont eux-mêmes au maximum d'oxydation, donnant dans ce cas leur maximum de coloration.

La teinte vert jaune du verre est donc presque toujours une teinte composée, formée de plusieurs couleurs se neutralisant et donnant comme résultante une teinte neutre faisant pour ainsi dire le fond et à laquelle s'adjoint comme dominante la teinte verte de l'oxyde de fer au maximum; avec le protoxyde de fer, la coloration au contraire est une, sans adjonction de teinte neutre, les teintes données par les autres oxydes, et en particulier par le manganèse, étant annulées.

On peut se rendre compte *a priori* de la différence de transparence de ces deux natures de verre en les comparant toutes deux sous une épaisseur de quelques centimètres; le verre au protoxyde de fer laisse passer les rayons avec une facilité infiniment plus grande.

Ce moyen de comparaison permet même de préjuger des qualités possibles d'athermanismes ou de diathermanisme d'un verre de coloration déterminée.

Il en résulte de plus que la moindre addition de manganèse destinée, dans une composition oxydante, à *savonner* le verre pourra rendre le verre athermane.

Nous terminerons en donnant la composition d'un verre qui, d'après une publication allemande, serait imperméable à la chaleur.

Ce verre préparé avec :

Sable	70
Kaolin	25
Soude	34

et donnant à l'analyse :

Silice	74,6
Alumine	8,4
Soude	15,4
Chaux	0,9
Oxyde de fer	traces.
	99,3

ne laisserait passer à l'épaisseur de 7 millimètres que 11 à 12 pour 100 de la chaleur émise d'un côté de cette plaque par un brûleur à gaz.

L'athermanéité peut, dans certaines applications, être un inconvénient.

En effet, l'athermanisme d'un verre a pour conséquence l'échauffement de la pièce qu'il a servi à fabriquer; cet échauffement peut-être considérable et n'être pas sans inconvénient quand il s'agit de pièces de verre posées dans le voisinage de puissants foyers lumineux.

Nous avons eu occasion de comparer la température de pièces de verre employées dans ces conditions, les unes fabriquées avec un verre athermane, les autres avec un verre diathermane, regardés tous deux comme incolores; tandis que la température des premières était élevée à plus de 200 degrés, celles des secondes n'était que de 30 degrés au bout de plusieurs heures de fonctionnement de l'appareil.

La détermination du coefficient d'absorption de lumière présente le plus grand intérêt dans le choix des verres pour l'optique.

Le coefficient d'absorption du crown, ou verre à glaces de Saint-Gobain, a été mesuré à différentes reprises (par M. J. Rey, de la maison Sautter Harlé et Cie), soit sur des piles de glaces, soit sur des cubes de 8 à 10 centimètres d'épaisseur.

Le crown de Saint-Gobain absorbe 1,5 pour 100 de la lumière incidente par centimètre traversé; la quantité de lumière transmise est donc de 0,985.

L'absorption croissant comme une fonction exponentielle, la quantité de lumière Q qui traverse une épaisseur *e* de verre est donnée par la formule :

$$Q = Q_0 \times 0{,}985^e.$$

Q_0 étant la quantité de lumière incidente.

CHAPITRE V

Porosité du verre. — On connaît les phénomènes de sudation qui se produisent dans les récipients en verre contenant certains liquides très fluides comme le pétrole, les essences minérales.

Cet effet, attribué pendant longtemps à une action de capillarité, est dû en réalité à la porosité que possède le verre.

Les expériences récentes de MM. E. Warburg et P. Tegetmeyer, l'ont démontré de façon irréfutable. Cette porosité serait suffisante pour permettre le passage d'éléments à volumes atomiques relativement faibles. Voici d'ailleurs en quoi consiste l'expérience fondamentale :

Un récipient en fer est partagé verticalement en deux moitiés au moyen d'une plaque de verre de quelques millimètres d'épaisseur. Dans l'une des moitiés, on place de l'amalgame de sodium, dans l'autre moitié du mercure pur.

Le tout est porté à 200 degrés, température à laquelle le verre devient légèrement conducteur. Les deux bains sont reliés aux pôles d'un accumu-

lateur et, en fermant le circuit, les atomes de sodium du silicate de soude se mettent en mouvement. Au bout de trente heures, on constate qu'une certaine quantité du sodium s'élevant à 5 centigrammes est passée dans le mercure primitivement pur. Une quantité correspondante de sodium a été perdue par l'amalgame, tandis que la plaque de verre a conservé exactement le même poids. Le verre est à la fois composé de molécules neutres de silicate de soude et de molécules libres de sodium qui sont susceptibles de se déplacer sous l'influence du courant électrique.

Si maintenant on recommence l'expérience en remplaçant l'amalgame de sodium par de l'amalgame de lithium, le sodium du verre passe comme précédemment dans le mercure pur et le verre devient opaque du côté adjacent à l'amalgame de lithium. Après un certain temps, l'opacité s'étend à travers toute l'épaisseur du verre et le lithium commence à passer à son tour dans le mercure.

Ce procédé ne permet pas de déplacer la totalité du sodium contenu dans le verre, mais les atomes libres du sodium sont remplacés par des atomes de lithium. Le verre primitif contenait 2,4 pour 100 de potassium et 13,1 pour 100 de sodium; après l'expérience, la proportion de potassium était restée la même, mais le verre contenait 4,3 pour 100 de lithium et 5,3 pour 100 seulement de sodium. Le verre de lithium obtenu est tendre, opaque et friable.

La conclusion de cette expérience est la suivante :

Les atomes de lithium ayant comme poids atomique 7 et comme volume atomique 15,98, peuvent passer à travers les « galeries » laissées libres par les atomes de sodium dont le poids atomique est 23 et le volume atomique 16,04. Si on substitue au lithium un métal tel que le potassium dont le poids et le volume atomiques sont respectivement 39 et 24, il est impossible de déplacer le sodium du verre, les atomes étant trop « volumineux » pour traverser les espaces laissés libres par le départ du sodium.

Nous sommes donc là en présence d'une véritable porosité moléculaire qui peut jusqu'à un certain point être mesurée, et l'influence mécanique des volumes de l'atome est mise ainsi en évidence.

ADHÉRENCE AU VERRE DE L'ALUMINIUM ET DE QUELQUES MÉTAUX (Al, Mg, etc.).

L'aluminium possède la singulière propriété, sur laquelle M. Charles Margot, assistant au cabinet de physique de l'Université de Genève, attire l'attention dans une étude publiée par les *Archives des sciences physiques et naturelles* (15 août 1894), de laisser sur le verre, et, en général, sur toutes les substances à base de silice, des traces métalliques lorsqu'on se sert de ce métal en guise de crayon, traces qu'aucun frottement, aussi énergique soit-il, ni aucun lavage usuel ne font disparaître. Cette propriété se manifeste d'une façon sensible lorsque la surface frottée est humectée ou seule-

ment recouverte d'une légère buée de vapeur, par exemple en soufflant l'haleine sur la plaque de verre.

L'humidité n'est cependant pas indispensable pour produire l'adhérence du métal au verre, mais elle la facilite beaucoup sans qu'il soit nécessaire de recourir à une pression trop forte ou à une friction trop énergique du crayon d'aluminium. Au moyen de ce procédé on peut exécuter par décalque des dessins variés, tels que fleurs, oiseaux, inscriptions diverses, aussi bien sur le verre à vitre ordinaire que sur des verres de couleur. Par la répétition des lignes tracées au moyen d'une réglette, lignes régulièrement espacées et entre-croisées diversement, on peut de même composer une sorte de damier ou de carrelage métallique d'un joli aspect.

La condition indispensable à la réussite de ce genre de dessin est la propreté parfaite du verre sur lequel on expérimente : les moindres traces graisseuses empêchant l'adhérence du métal; il est bon de faire subir au verre un nettoyage préalable et même de frotter le bout du crayon taillé en pointe sur une feuille de papier de verre à grain fin; des essais peuvent donner un résultat négatif faute de prendre ces précautions. On reconnaît d'ailleurs vite, par expérience, que le dessin s'effectue dans les conditions voulues à la résistance particulière qu'éprouve la main lorsque le crayon métallique « mord » bien.

L'humidité indispensable pour le dessin exécuté à la main, dessin d'ailleurs un peu pâle et manquant de relief, est pourtant préjudiciable à la beauté du dépôt métallique; mais si l'on a recours à une petite meule en aluminium (fig. 71), actionnée par pédales ou moteur électrique, fixée à une transmission flexible et animée d'un rapide mouvement de rotation, l'interposition d'eau devient superflue et l'adhérence du métal au verre se fait dans des conditions de facilité extrêmement remarquables. Le métal s'attache au verre au fur et à mesure du passage de la meule avec une régularité parfaite, et le trait d'aluminium ainsi formé prend un éclat métallique irréprochable et une épaisseur telle qu'il est absolument opaque lorsqu'il est vu par transparence.

Ce dernier procédé donne des résultats de beaucoup supérieurs au précédent; il se prête aisément à la reproduction des dessins les plus variés; il ne fatigue pas la main du dessinateur et n'exige de sa part qu'un peu d'adresse et d'exercice.

Le dessin exécuté de la sorte a des reflets chatoyants agréables à l'œil, d'un vif éclat, avantageux dans certains genres de travaux artistiques. On peut d'ailleurs, par un polissage, lui donner l'apparence d'une incrustation métallique très belle. Ce polissage peut s'effectuer de façons diverses : le plus simple, à la portée de tous, consiste à recouvrir le verre d'une légère couche d'huile et à passer obliquement dessus, d'une main ferme, un outil tranchant en acier, lequel enlève les rugosités sans faire de rayures au verre, tout en laissant une épaisseur convenable de métal; l'éclat et l'opacité du trait vu par transparence subsistent encore entièrement. Ce polissage donne une idée de la ténacité avec laquelle le métal s'est attaché au verre, puisque, mécaniquement, il est difficile de le faire disparaître sans l'user

dans toute son épaisseur. M. Margot compare cette adhérence à une véritable soudure aussi résistante que celle qui peut être obtenue à chaud entre un métal et un autre métal par les procédés usuels de soudure au moyen de fondants divers.

En traitant des plaques décorées à l'aluminium par l'acide chlorhydrique ou la potasse caustique en solution, on pourrait s'attendre à voir disparaître toute trace de dessin. Il n'en est rien cependant; le métal disparaît rapide-

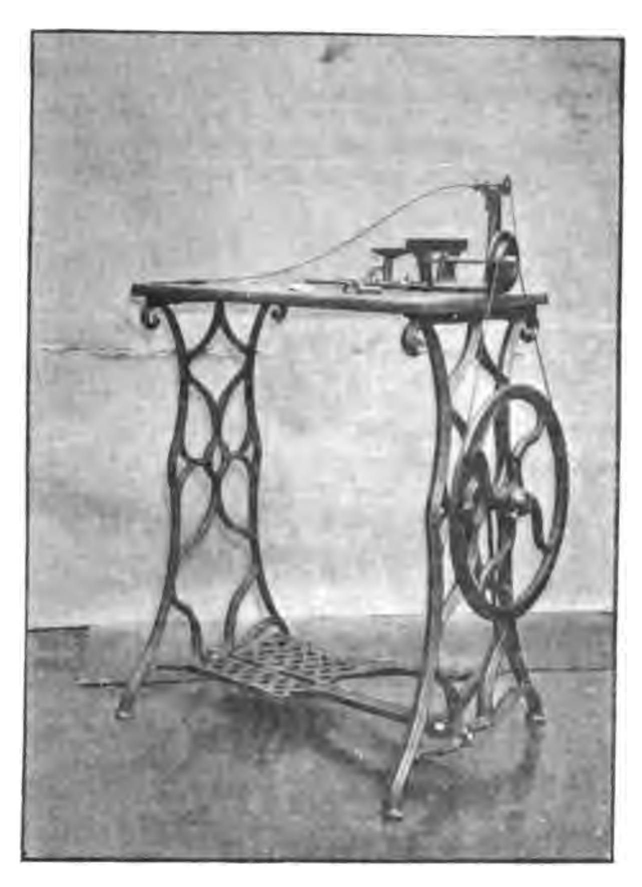


Fig. 71.

ment, mais non le sujet qu'il représentait, dont l'empreinte subsiste en traits déposés bien visibles, comme si le verre avait été corrodé par le contact intime de l'aluminium.

Ce fait ne paraît pas résulter d'une action purement mécanique due à la rotation rapide de la meule ou à la chaleur dégagée au point de contact, car il se produit d'une façon encore plus marquée pour des dessins exécutés à la main, par simple friction, sur une plaque de verre complètement immergée dans l'eau. La nature du verre, et aussi la manière dont la meule se comporte, influent quelque peu sur le résultat final qui peut être plus ou moins

visible; mais, en règle générale, on reconnaît presque toujours une trace du dessin antérieur en plaçant la plaque de verre en bonne lumière.

Les essais faits pour constater si ce phénomène d'adhérence au verre était propre à l'aluminium ont été négatifs avec la plupart des autres métaux. L'or, l'argent, le platine, le cuivre, le fer, le nickel, etc., n'ont pas la moindre tendance à laisser sur le verre, par la friction, des traces métalliques appréciables, soit qu'on fasse l'expérience à la main avec ou sans emploi d'eau, soit qu'on la fasse au moyen d'une meule faite de ces métaux et tournant rapidement.

Trois métaux ont cependant, dans les mêmes conditions que l'aluminium. la propriété de se souder au verre, mais à des degrés divers :

1° Le magnésium, appartenant aussi à la famille des métaux terreux, possède cette propriété à un très haut degré; aussi l'emploi d'un crayon fait de ce métal permet l'écriture ou le dessin sur le verre ou la porcelaine avec plus de facilité qu'avec l'aluminium, et il suffit de la moindre humidité sur la surface frottée pour qu'on puisse y mettre une inscription avec autant de facilité qu'avec un crayon ordinaire sur une feuille de papier. Cela est si manifeste qu'il est presque possible de juger de l'état hygrométrique de l'air par le plus ou moins de difficultés qu'on rencontre dans l'exécution de cette singulière expérience.

Malheureusement l'oxydabilité du magnésium restreint les applications de ce genre qui pourraient en être faites. Le tracé au magnésium est éphémère; quelques jours, parfois quelques heures, suffisent pour la faire disparaître.

Néanmoins on pourrait l'utiliser avantageusement pour l'ébauche de dessins destinés à être peints sur le verre, l'émail ou la porcelaine, et qu'une goutte de vinaigre, ou l'oxydation naturelle, ferait disparaître au bout de peu de temps.

2° Le cadmium possède à un degré manifeste la même propriété que les deux métaux précédents; le trait fait à la meule ne manque pas d'éclat et d'analogie avec celui qui est obtenu avec l'aluminium lorsqu'il vient d'être tracé. L'aspect en est cependant moins beau à l'envers de la plaque décorée, si c'est sur du verre transparent, et ce métal se ternit à la longue en se recouvrant d'une couche d'oxyde grisâtre.

3° Le zinc est le dernier de la série des métaux ayant la faculté d'adhérer au verre, mais avec bien moins de facilité que les trois premiers. Encore faut-il donner à la meule une grande vitesse et agir avec une pression très forte pour obtenir un résultat peu brillant. Plus encore qu'avec le cadmium, le tracé obtenu manque complètement d'éclat à l'envers de la plaque. Avec ces deux métaux on ne peut arriver à laisser sur le verre aucune trace visible s'ils sont simplement employés sous forme de crayons guidés à la main, et cela pour la raison suivante :

Ainsi qu'il est dit plus haut, l'emploi de l'eau, quoique préjudiciable, facilite avec l'aluminium et le magnésium l'adhérence au verre soit à la main où elle devient indispensable, avec l'aluminium en particulier, soit à la meule où elle est alors superflue. Avec le cadmium et le zinc, l'effet inverse se

produit. L'interposition d'eau est un obstacle absolu à la prise du métal; il faut, au contraire, une surface sèche et éviter de souffler accidentellement l'haleine sur la plaque de verre. Ce fait singulier montre que, pour ces deux derniers métaux, le phénomène d'adhésion est d'une nature quelque peu différente.

Les essais faits dans ce sens ont donné les résultats suivants : Sur un cristal de corindon, par conséquent d'alumine cristallisée, l'adhérence de l'aluminium, du magnésium et du cadmium se fait aisément; il en est de même avec la topaze, le rubis et l'émeraude. Le zinc, comme il fallait le prévoir, s'attache peu et plutôt plus difficilement que sur le verre. Il en est naturellement de même avec le quartz pur et ces quatre métaux. Par contre, la même expérience répétée sur une facette d'un diamant a donné des résultats absolument nuls.

Aucun métal essayé, pas plus l'aluminium que le magnésium, ne laisse la moindre trace de frottement, si énergique soit-il, avec ou sans excès d'humidité.

Ce point est intéressant, et M. Margot en déduit un procédé très simple pour reconnaître à la première inspection un diamant d'un strass ou de toute autre pierre employée en joaillerie. Il suffira de se servir d'un crayon d'aluminium ou mieux de magnésium en guise de pierre de touche et d'essayer de marquer la pierre suspecte légèrement humectée. Si c'est un diamant, le résultat sera négatif; si c'est un strass, le métal laissera sa trace indubitablement.

Une interprétation plausible de ces singuliers phénomènes d'adhérence serait prématurée, et elle ne pourrait pas être basée sur les résultats obtenus par un nombre trop restreint d'expériences faites dans ce sens jusqu'à ce jour. Y a-t-il une combinaison chimique produite par le frottement d'un de ces métaux et la substance frottée? cela est difficile à constater. Ou bien une simple action moléculaire, très variable avec les corps en présence, laquelle a son analogue dans les phénomènes capillaires, si variables d'un corps à l'autre, action de telle nature que dans un cas, entre le verre et le mercure il y a répulsion, d'où dépression du liquide et que, dans d'autres cas, l'effet inverse se produit.

RÉSUMÉ DE CES QUELQUES ESSAIS PAR ORDRE DÉCROISSANT EN FACILITÉ D'APPLICATION.

	QUARTZ.	ÉMERAUDE.	TOPAZE.	CORINDON.	DIAMANT.
Magnésium	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence nulle.
Aluminium	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence forte.	Adhérence nulle.
Cadmium	Adhérence	Adhérence	Adhérence	Adhérence	Adhérence nulle.
Zinc	Adhérence faible.	Adhérence faible.	Adhérence faible.	Adhérence faible.	Adhérence nulle.
Argent et autres métaux.	Adhérence nulle.	Adhérence nulle.	Adhérence nulle.	Adhérence nulle.	Adhérence nulle.

Nous venons de dire que le magnésium possède à un degré extraordinaire la propriété d'adhérer au verre, que le zinc possède également cette propriété quoique à un degré beaucoup moindre. Certains alliages se comportent de la même façon. Ainsi l'alliage de 2 à 5 pour 100 de zinc et d'étain est des plus remarquables, il adhère admirablement au verre avec une ténacité extrême, il est relativement très blanc, fond à une température de 200 degrés environ, aussi peut-on l'employer facilement pour le soudage du verre à un métal quelconque, du verre au verre, et pour l'étamage. Il s'étale très bien au moyen d'un tampon de papier à filtrer ou de coton très propre; un alliage qui réussit également fort bien a pour composition 4 à 5 pour 100 de cuivre et 95 à 96 d'aluminium.

Il est curieux de constater que tous les alliages adhérents au verre ont la propriété d'étamer l'aluminium et de permettre de le souder. Il y a là, entre ces propriétés d'adhérence des alliages au verre par friction et à l'aluminium par fusion, un fait encore non complètement expliqué. Le plomb, par exemple, qui ne s'attache absolument pas à l'aluminium, acquiert cette adhérence si l'on y ajoute 5 à 9 pour 100 de magnésium. M. Margot, poursuivant ses recherches sur ce sujet, dans les *Archives des sciences physiques et naturelles*, a obtenu de nouveaux résultats — intéressants au plus haut degré — qu'il a publiés et que nous reproduisons ici.

L'aluminium, le magnésium, le cadmium et le zinc ayant la propriété de laisser sur le verre et autres substances dures et polies des traces métalliques par frottement, il y avait intérêt à vérifier si, pour le verre en particulier, l'adhérence avait encore lieu aux températures de fusion de ces métaux et si, d'autre part, elle se transmettait à leurs alliages.

L'expérience montre que c'est bien ainsi que les choses se passent avec la plupart de ces métaux :

1° L'aluminium adhère énergiquement au verre chauffé dès que la température est suffisante pour fondre le métal. Il est même possible de métalliser une pièce de verre en la recouvrant d'une couche adhérente d'aluminium que l'on étend avec une petite spatule de fer comme on opérerait en se servant d'une sorte de cire fondant à une température élevée.

2° La même expérience faite avec le magnésium présente des difficultés particulières tenant à la rapide oxydation et à l'inflammabilité de ce métal; en outre, il se produit avec le verre une action chimique qui provoque bien une sorte d'adhérence du métal, mais par l'interposition de la combinaison effectuée entre les deux corps : le magnésium fondu ne peut donc adhérer directement au verre. Il présente néanmoins la particularité curieuse de s'attacher au verre par simple frottement à une température élevée, mais cependant bien au-dessous de son point de fusion.

3° Des difficultés analogues se retrouvent à un degré moindre avec le cadmium, métal très oxydable lorsqu'il est fortement chauffé, on peut réussir cependant, en prenant des précautions, à métalliser du verre avec le cadmium, l'essai de cette sorte d'étamage réussit bien s'il est effectué à l'intérieur d'un tube de verre, car l'on évite ainsi de chauffer trop directement

le métal sur la flamme du gaz. Après refroidissement, l'on constate que l'adhérence est des plus prononcée.

4° Le zinc présente une propriété d'adhérence au verre tout à fait semblable à celle de l'aluminium; comme il fond à une température moins élevée, il est relativement facile d'étendre sur une plaque de verre chauffée une légère couche de zinc homogène, bien que l'oxydation se manifeste sensiblement.

La difficulté que l'on rencontre dans l'emploi de ces métaux pour la métallisation du verre réside non seulement dans la grande oxydabilité de plusieurs d'entre eux, mais surtout dans leur point de fusion élevé, qui nécessite un chauffage du verre à température voisine du rouge sombre; c'est particulièrement le cas pour l'aluminium et pour le zinc, les seuls métaux qui pourraient être utilisés. Cette difficulté peut être heureusement tournée par l'emploi d'alliages qui possèdent, au même titre que les métaux purs, la facilité d'adhérer au verre.

Les métaux s'attachant au verre par frottement conservent donc cette propriété d'adhérence à l'état de fusion, mais trois seulement d'entre eux : le magnésium, l'aluminium et le zinc la transmettent d'une façon très énergique aux alliages de plomb et d'étain, mais surtout à l'étain pur. Remarquons que le plomb et l'étain employés seuls ou alliés l'un à l'autre n'adhèrent aucunement au verre par fusion.

Ainsi le magnésium allié à ces métaux dans une proportion variant de 2 à 5 pour 100 forme des alliages qui possèdent à un degré élevé la faculté d'adhérer au verre. Le simple alliage des plombiers devient, par la présence de quelques millièmes de magnésium, un véritable mastic métallique pouvant s'étendre à chaud sur le verre de la même manière que la cire à cacheter. Malheureusement les alliages de magnésium sont peu stables, ils subissent l'influence de l'humidité de l'air et se ternissent assez rapidement; leur emploi ne peut être qu'assez restreint, ils sont décomposés avec effervescence par l'eau bouillante, comme le serait du zinc dans de l'eau acidulée.

L'aluminium forme de même avec l'étain des alliages à propriétés adhésives, possédant un bel éclat et inaltérables; leur inconvénient est de fondre à une température un peu élevée, de 390 degrés pour l'alliage d'étain à 10 pour 100 d'aluminium; l'emploi en devient un peu délicat : il y aura cependant des avantages à les utiliser dans des cas spéciaux.

Les alliages de zinc et étain possèdent les mêmes propriétés énergiques d'adhérence au verre que les précédents; leur fusibilité faible (les alliages ne dépassant pas 8 pour 100 de zinc fondent à 200 degrés) en permet l'application commode à l'étamage ou à la soudure d'objets en verre; aussi peuvent-ils servir en guise de cire à cacheter pour des dispositifs employés dans les laboratoires, tels que la jonction de tuyaux de verre, etc. La proportion de zinc peut varier de 2 à 5 pour 100; il est prudent de ne pas aller au delà de ce chiffre, si l'on veut une soudure homogène et exempte de phénomènes de liquation trop prononcée.

Le mode d'emploi de ces diverses compositions métalliques consiste à chauffer un peu fortement le bâtonnet de soudure et, au moyen d'un tampon fait de papier à filtrer ou de chiffon très propre, étendre au besoin, en frot-

tant légèrement, l'alliage sur les parties que l'on désire métalliser. Ce sera le cas pour l'étamage d'une plaque de verre qui offrira, si l'opération a été bien conduite, une surface absolument réfléchissante et semblable à celle d'une glace ordinaire couverte de tain. Le dépôt métallique offre une adhérence telle qu'il faut recourir à un outil tranchant pour pouvoir l'enlever; pour réussir la soudure ou l'étamage du verre par ce procédé, on doit éviter de chauffer au delà du point de fusion du métal, une trop forte oxydation pouvant empêcher l'adhérence de se produire dans de bonnes conditions. On peut aussi se servir du fer à souder ordinaire, mieux d'un fer à souder en aluminium, lequel retient bien la soudure et ne s'oxyde pas. On opérera de la même manière que pour rejoindre deux pièces métalliques ensemble; mais, contrairement aux méthodes de soudure des métaux usuels, il ne faut employer aucun fondant pour faciliter la prise de métal; un nettoyage soigné du verre est seulement indispensable, des traces de matières grasses étant préjudiciables à l'adhérence.

Dans les soudures de verre faites avec ces divers alliages ou avec les métaux purs, de même que dans les phénomènes d'adhérence métallique par frottement, on constate une adhérence très énergique du métal au verre, mais non une soudure dans le sens strict du mot : car il n'y a pas incorporation du métal à la substance du verre, pas de combinaison entre les deux corps, comme c'est le cas avec la soudure des métaux, où il se forme un alliage superficiel; ainsi dans le fer étamé, entre le fer et l'étain qui le recouvre. Le terme soudure est usité par analogie de phénomènes différant dans leur nature, bien que le résultat pratique obtenu soit le même dans les deux cas. Les essais faits pour reconnaître si d'autres métaux alliés à l'étain ont la propriété d'adhérer au verre par fusion ont été négatifs; ainsi le cuivre, l'argent, le fer et le nickel ajoutés à l'étain dans de faibles proportions forment des alliages relativement fusibles, mais n'ayant aucune propriété d'adhérence, et ne pouvant être utilisés pour la soudure du verre.

Un fait intéressant à noter, c'est que dans les alliages adhérant si parfaitement au verre, quelques-uns offrent des propriétés d'adhérence semblables par rapport à l'aluminium et peuvent être utilisés pour la soudure ou l'étamage de ce métal. Ce sont, comme d'ailleurs pour le verre, les alliages à faible teneur de zinc combinés à l'étain qui s'emploient le plus facilement à cause de leur fusibilité peu élevée. La teneur en zinc ne doit pas dépasser 7 ou 8 pour 100; dans ces conditions, cette soudure nous a paru bonne et assez résistante pour que des pièces d'aluminium façonnées avec elle et soumises à des essais de rupture aient parfaitement résisté à l'épreuve. La manière de se servir de cette soudure consiste à étamer préalablement les parties métalliques que l'on veut rejoindre, en opérant comme pour le verre, c'est-à-dire étendre l'alliage au moyen du tampon de papier à filtrer et terminer la liaison des pièces avec le fer à souder, de préférence encore celui en aluminium et de même n'avoir recours à aucun fondant pour faciliter la soudure. Les alliages contenant du magnésium doivent être naturellement rejetés, pour les motifs qui les rendent impropres à la soudure du verre, bien qu'ils paraissent adhérer d'abord à l'aluminium d'une façon parfaite, on constate leur altération au bout de peu de temps.

La faculté d'adhérer au verre transmise aux alliages par les métaux possédant la propriété d'adhérer par frottement peut servir peut-être d'indication sur l'origine probable de ces curieux phénomènes d'adhérence métallique. Dans le cas de l'aluminium ou du magnésium, on peut difficilement admettre qu'il se produise une action chimique entre un de ces métaux et une partie constituante du verre, la silice par exemple : aucune trace de combinaison ne se constatant à froid, mais seulement à la température du rouge avec le magnésium. D'autre part, l'adhérence a également lieu sur des corps durs et polis, tels que la pyrite de fer, l'acier trempé, la généralité des pierres précieuses, etc., la condition essentielle pour que cet effet se produise franchement semblant tenir plutôt au poli et à la dureté de la surface frottée qu'à la nature de cette surface.

Le frottement de l'aluminium sur le verre laisse généralement une sorte de striage plus ou moins prononcé après un lavage à la potasse caustique, qui enlève toute trace du métal, striage auquel on pourrait attribuer exclusivement l'origine de l'attache du métal. L'étude attentive des circonstances dans lesquelles l'adhérence se manifeste ne justifie pas tout à fait cette supposition contre laquelle surgissent des objections sérieuses.

L'examen microscopique de l'empreinte gravée sur certains verres fait connaître de fines stries irrégulières, telles qu'un corps dur et à angles vifs peut en produire; aussi la première impression est que ces rayures sont occasionnées par des parcelles de verre arrachées et pulvérisées par le frottement énergique de la meule ou du crayon d'aluminium, lesquelles s'incrustent dans le métal et donnent lieu au striage consécutif.

Une autre cause peut agir concurremment et produire le même résultat; elle serait due aux traces de silicium et même de carbures que renferme l'aluminium du commerce, dans une proportion variant de 1/2 à 2 pour 100. Une autre opinion, qui semble donner une interprétation plausible de l'adhérence de l'aluminium au verre, a été formulée par M. C.-E. Guillaume, dans une lettre publiée récemment.

» M. Vogt, directeur technique de la manufacture nationale de Sèvres, avec lequel j'ai eu l'occasion, écrit M. Guillaume, d'essayer le procédé de M. Margot, émit l'opinion que la gravure était due à la présence de l'alumine; celle-ci raye le verre et s'y incruste, retenant ensuite une petite quantité d'aluminium ; les conditions de réussite de l'expérience indiquées par M. Margot sont précisément celles que favorisent la formation de l'alumine. »

M. Guillaume a poursuivi l'expérience en mettant le métal à l'abri de l'oxydation à l'aide d'une mince couche de copahu étendu sur le verre. Dans ces conditions il a constaté que la gravure est devenue impossible, ce qui donne, dit-il, un appui de plus à la thèse de M. Vogt.

Le striage du verre, dans le cas de l'aluminium, dû aux origines diverses énumérées ci-dessus, peut, dans une certaine mesure, faciliter l'adhérence du métal, car on observe avec tous les métaux frottés sur du verre finement dépoli un arrachement de parcelles métalliques que retiennent les aspérités du verre; mais ici l'adhérence est loin d'être comparable à celle qui se manifeste avec l'aluminium frotté sur une surface tout à fait lisse. Si l'adhé-

rence de l'aluminium au verre est due à la présence de l'alumine, il faut aussi admettre que la magnésie joue le même rôle à l'égard du magnésium, mais avec ce métal une objection se présente. Il possède à un degré extrême la faculté de gripper au verre et d'y laisser un dépôt métallique prononcé et très adhérent, mais il ne montre après le départ du métal aucune trace visible du striage auquel devait être due l'adhérence; en cela ce métal diffère notablement de l'aluminium. L'adhérence de ces deux métaux n'est pas exclusivement provoquée par les rugosités visibles de la surface du verre, puisqu'on ne voit le striage se produire fortement que sur le verre gravé au moyen de l'aluminium, et encore à des degrés très variés. Ainsi certains verres de couleur, d'une dureté médiocre, le présentent d'une façon si prononcée qu'on pourrait supposer que le dessin a été exécuté avec une meule de lapidaire, tandis que sur le verre à vitre ordinaire, les traces de la gravure sont moins sensibles et sur les corps durs, tels que la porcelaine et l'acier trempé, il est difficile, sinon impossible, de retrouver les traces de striage. D'autre part, lorsque se produit l'adhérence par fusion des métaux adhérant au verre par frottement, le striage préparatoire est éliminé et ne peut venir en aide à l'attache du métal. L'origine de l'adhérence au verre de l'aluminium et du magnésium doit être cherchée dans une modification de la surface du verre, modification due à la présence des oxydes de ces métaux, l'alumine et la magnésie. Nous ignorons en quoi consiste cette modification qu'apporte la présence de ces oxydes; pour l'aluminium, la théorie de M. Vogt semble être en partie exacte, c'est-à-dire que l'adhérence a bien son origine dans la formation de l'oxyde; pour les autres métaux adhérant au verre, le magnésium, le zinc et le cadmium, la supposition d'incrustation de leurs oxydes dans le verre devient plus problématique bien qu'il soit probable qu'ils jouent un rôle plus ou moins important dans ces phénomènes d'adhérence.

Les expériences que nous avons entreprises pour vérifier l'exactitude de la théorie d'adhérence relativement à l'aluminium et au magnésium telle que M. Vogt la donne, semblent concluantes. Nous avons d'abord fait des essais en recouvrant la plaque de verre en expérience de solutions ou de liquides divers. La liste ci-jointe indique les cas d'adhérence et de non adhérence du crayon d'aluminium ou de magnésium :

ADHÉRENCE.	NON-ADHÉRENCE.
Eau glycérine.	Éther. Benzine. Chloroforme.
Sulfure de carbone.	Vaseline liquide.
Ammoniaque. Azotate d'ammoniaque.	Huile de naphte pure. Pétrole.
Potasse caustique. Oxalate de potasse.	Alcool ordinaire.
Silicate de potasse. Nitrate de potasse.	Alcool méthylique.
Acides sulf. nitrique et chlorhydrique.	Alcool amylique.
Chlorure de sodium. Chlorure de fer.	Térébenthine. Essence de lavande.
Bichlorure de mercure. Chlorure de baryum.	Oléine. Huile d'olive.
Vinaigre. Acétate de plomb.	Baume de copahu.
Solution sirupeuse de gomme arabique.	Créosote. Phénol. Toluol.

La comparaison de ces deux séries de substances est significative, car elle

montre nettement que l'adhérence se manifeste surtout dans les solutions de sels métalliques, dans les acides et composés attaquant l'aluminium et le magnésium.

La seconde série, au contraire, renferme des composés non miscibles à l'eau ou des désoxydants; c'est le cas des essences, des huiles, des hydrocarbures. L'oxydation qui se produit dans le premier cas facilite ou provoque l'adhérence du métal par la production d'alumine ou de magnésie; dans le second cas, l'oxydation étant nulle, l'adhérence ne se manifeste pas non plus. L'expérience suivante indique bien qu'il y a formation d'alumine ou de magnésie dans le frottement de leurs métaux respectifs sur le verre humide. La plaque de verre étant recouverte d'eau, si l'on vient à frotter vivement le crayon d'aluminium ou de magnésium, on constate le dégagement de bulles gazeuses microscopiques qui viennent se rassembler à la surface sous forme d'écume, lesquelles ne peuvent être que l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau. L'expérience de contrôle faite avec une tige d'argent sur la surface recouverte d'eau, d'un verre dépoli, afin de provoquer un grippement du métal, ne montre pas de dégagement de gaz qu'on aurait peut-être pu, dans le premier cas, attribuer à l'air entraîné par le crayon. Il y a donc formation manifeste d'alumine ou de magnésie, lesquelles, par incrustation ou contact simple, provoquent l'adhérence du métal au verre.

Restait à constater si l'alumine ou la magnésie calcinée avaient une tendance à s'attacher au verre par frottement; c'est ce que l'expérience confirme pour ces deux oxydes, mais surtout pour le dernier. Si au moyen d'un bouchon de liège on frotte un peu vivement le verre recouvert de magnésie calcinée, on observe une adhérence tellement marquée de la magnésie au verre, qu'elle donne l'illusion d'un dépoli effectué par un moyen mécanique ou chimique quelconque. Ce n'est pourtant pas le cas, car la magnésie étant enlevée par un acide, on retrouve le verre intact et aussi lisse qu'avant l'expérience et sans aucune production de rayures. Il n'en est pas de même avec l'alumine, qui adhère fortement mais laisse des traces fines de striage.

Un cas plus curieux et d'un intérêt pratique pour la gravure par l'aluminium fait reconnaître qu'il suffit de saupoudrer très légèrement le verre à graver avec de la magnésie ou de l'alumine en poudre très fine pour que le crayon métallique morde très facilement le verre, sans avoir à recourir à l'emploi de l'eau.

D'autres substances peuvent servir d'intermédiaires ou de sortes de mordants et donnent des résultats encore meilleurs que la magnésie. Ce sont non seulement des oxydes très durs en poudre impalpable; mais, fait curieux, des substances qui passent pour être très tendres au point de vue minéralogique : le talc, par exemple.

Citons entre autres : L'amiante et le talc, le tripoli, le blanc de Troyes, la craie de Briançon, la pierre ponce finement pulvérisée, l'oxyde de fer noir, Le bioxyde de manganèse, le rouge d'Angeterre ou colcothar, etc.

Il suffit, pour réussir à coup sûr, de frotter la surface du verre avec un linge fin ou un bouchon de liège recouvert d'une de ces substances, d'essuyer légèrement la plaque sur laquelle il en restera une quantité suffisante pour

qu'il soit alors aussi facile de dessiner ou d'écrire avec l'aluminium sur le verre ainsi traité qu'avec une touche sur une ardoise et sans recourir à l'humidité. Remarquons que ces substances de nature plus ou moins complexes, comme la pierre ponce par exemple, ne s'attachent pas en général par frottement au verre ainsi que le fait la magnésie, l'alumine et certains silicates d'alumine. Ce sont des mordants qui, pour ainsi dire, remplissent le rôle de l'alumine ou peut-être du silicium dans l'adhérence de l'aluminium; ils s'incrustent dans le métal du crayon, strient le verre dans certains cas, mais pas toujours, et facilitent l'attache du métal.

Il semble donc à peu près certain que les oxydes de l'aluminium et du magnésium se forment en quantité suffisante dans le frottement énergique de ces métaux sur le verre pour provoquer l'adhérence. Mais, d'autre part, ces derniers doivent avoir la propriété de se souder à eux-mêmes par le contact intime de leurs molécules dû au frottement, et il se passe un phénomène d'adhésion ou de soudure analogue à celui qui se produit dans la compression de deux surfaces coupées fraîchement dans du plomb. Aux premières parcelles de métal arrachées viennent se souder d'autres parcelles qui, par leur juxtaposition, finissent par former un trait métallique continu et compact.

Dans les phénomènes d'adhérence par fusion, il est probable que l'oxydation joue le même rôle que dans l'adhérence par frottement, et cette oxydation étant plus énergique produit l'adhérence plus facilement encore que par le frottement. Cela est surtout manifeste pour les alliages contenant du magnésium; ces composés étant éminemment oxydables, et la magnésie, ainsi que nous le constatons, adhérant énergiquement au verre, il en résulte une attache très intense de ces alliages. Le magnésium adhérant à une température élevée, bien qu'au-dessous de son point de fusion, mais à une température où l'oxydation elle-même se manifeste sensiblement, il est encore logique d'attribuer à cette cause l'origine de l'adhérence de ce métal.

Les alliages d'aluminium ou de zinc avec l'étain possédant les mêmes propriétés d'adhérence, peut-on admettre que c'est l'oxydation qui intervient pour la provoquer? Nous ne pouvons l'affirmer positivement, mais sans vouloir faire une généralisation trop hâtive, il est naturel de le supposer par analogie avec ce que l'on observe relativement au magnésium et aux alliages de ce métal.

Les phénomènes de cohésion ou affinités moléculaires des corps mis en contact intime par le frottement ou par fusion doivent aussi être pour quelque chose dans l'adhérence de plusieurs de ces métaux au verre, car, même en admettant que les oxydes jouent le rôle de mordants entre le verre et le métal et qu'il se produise dans certains cas une sorte d'incrustation de l'alumine ou de la magnésie dans le verre, cette attache est-elle suffisante pour tout expliquer? Nous constatons des anomalies avec le zinc, dont l'oxyde ne raye pas le verre et n'y adhère aucunement; il en est de même avec le cadmium, lequel adhère très bien au verre par frottement ou par fusion et, bien que très oxydable dans ce dernier état, ne communique pas de propriétés adhésives à ses alliages. Le magnésium lui-même adhère par frottement sur des corps, tels que le corindon, plus dur que la magnésie et où il n'est pas admissible de supposer une incrustation ou un striage, pas même constaté sûrement sur le verre ordinaire.

En résumé, cette question est des plus complexes et nombre de points douteux restent à élucider qui nécessiteraient une étude expérimentale très approfondie des circonstances variées dans lesquelles on constate l'adhérence de ces métaux.

Résistance du verre à la flexion. — Au moment où de nouveaux procédés de fabrication permettent d'obtenir couramment des verres spéciaux presque aussi résistants que la fonte, il est du plus haut intérêt de connaître qu'elle est généralement la résistance du verre à la flexion, spécialement dans son application à la couverture des bâtiments.

Les essais faits sur les différents verres ont donné les résultats suivants :

Désignation.	Densité.	Coefficient d'élasticité par millimètre carré.	Résistance à la tension par millimètre carré.
—	—	—	—
Verres à vitre.................	2,523	7,917	1,769
Glace........................	2,467	7,015	1,400
Cristal blanc exempt de plomb...	2,450	6,890	1,002
Cristal blanc et de couleur	2,324	5,477	0,665

Nous avons dit que la trempe accroît dans des proportions notables les propriétés d'élasticité du verre.

L'augmentation d'élasticité variant avec le degré de trempe, il n'est pas possible de donner de chiffres précis établissant cet accroissement d'élasticité ; cependant on peut dire qu'une bonne trempe communique au verre une résistance triple de celle qu'il possède lorsqu'il est bien recuit (1).

RELATION ENTRE LA DURETÉ ET L'ÉLASTICITÉ DU VERRE.

La détermination de la dureté des corps présente de grandes difficultés. Jusqu'aujourd'hui on s'en est peu occupé en France et nous ne connaissons sur la matière que les travaux que M. Osmond a publiés comme membre de la commission nommée par le ministère des travaux publics, pour l'étude des matériaux de construction.

Il existe bien une échelle de dureté des corps, établie d'après la faculté que présente toute substance de rayer un corps plus mou et d'être rayé par un autre plus dur.

Cette méthode ne peut évidemment donner que des résultats incertains

(1) Nous engageons vivement le lecteur à consulter ce très intéressant travail « Transmission des forces extérieures au travers des corps solides » que M. Léger a publié dans les Mémoires des Ingénieurs civils et dont un tirage à part a été fait chez E. Capiomont et V. Renault.

Partant de ce principe que les déformations moléculaires produites sur diverses matières par des efforts semblables sont comparables et ne diffèrent que par leur valeur relative, utilisant la lumière polarisée comme moyen d'investigation et tirant parti de la transparence du verre et de la biréfringence de ses parties soumises à un effort, M. Léger a cherché à analyser sous leur forme sensible les principaux faits de la résistance moléculaire des matériaux. Il a pu ainsi vérifier et rectifier les hypothèses sur lesquelles reposent les plus importantes théories appuyées souvent jusqu'ici sur les seules observations possibles de déformations superficielles.

surtout quand il s'agit de comparer entre eux des corps ayant presque la même dureté, comme sont le principales sortes de verres.

A ce mode de détermination de la dureté par le striage, Hertz a susbtitué, en 1882, un procédé susceptible d'une plus grande précision, et dont les résultats présentent l'avantage d'être mesurables. Ce procédé, perfectionné par Auerbach, repose sur le principe suivant :

Lorsque une surface plane d'un corps et une surface sphérique d'un autre corps se touchent sans pression, le contact se fait en *un point*.

Si l'on exerce une pression déterminée, normale, sur ces deux corps, les surfaces en contact se modifient, la surface plane se courbe, et la surface sphérique s'aplanit jusqu'à un certain point, et le point de contact s'élargit et se transforme en une surface, légèrement courbe, commune aux deux corps. Cette surface s'appelle la *surface de pression*. Elle n'est ni plane ni de la même courbure que la surface sphérique, mais d'une courbure qui varie selon le rapport de l'élasticité des deux corps et selon la pression. Elle est limitée par une ligne circulaire.

Sa grandeur ne dépend pas seulement de la courbure du corps sphérique, mais aussi de l'élasticité des deux corps et de l'intensité de la pression. Plus cette dernière augmentera, plus la surface de pression deviendra grande; la pression se répartira sur une surface de plus en plus grande. Or, la résistance de la matière ne dépend pas évidemment de la pression totale, mais de la pression par unité de surface.

Il faut donc trouver d'après quelle loi cette grandeur croît quand la pression augmente. La théorie montre que le rayon de la surface de pression (ou plus exactement : le rayon de la ligne circulaire qui limite la surface de pression), de même que la pression par unité de surface, augmentent comme la racine cubique de la pression totale, et la surface de pression croît comme les 2/3 de cette puissance; le reste est perdu par la répartition.

La pression diminue graduellement, du point central de la surface de pression, où elle est la plus grande, jusqu'au bord, où elle devient nulle. La pression par unité de surface telle qu'elle a été donnée, n'exprime donc qu'une valeur moyenne, qui est à la valeur maximum du point central comme 3 : 2.

Si la pression totale croit de plus en plus, il arrivera un moment où le point central sera soumis à une pression équivalente au maximum d'élasticité d'un des deux corps ou des deux corps, si ils sont de même matière; pour un corps plastique, il se produit une déformation permanente; si on opère sur un corps cassant, la cohésion des parties, est détruite en certaines places et il se produit une fêlure plus ou moins accentuée. Cette valeur limite de la pression par unité de surface qui amène la cassure, représente, d'après la défінitition de Hertz, la dureté du corps.

Jusqu'à présent on a pris un système déterminé de deux corps se touchant. Mais comment se modifieront les rapports, s'il est remplacé par un autre qui s'écarte de celui-là d'une façon ou d'une autre. Soit :

1° Que la surface sphérique soit d'une autre courbure;

2° Ou que les corps ne soient pas de même élasticité.

Dans le premier cas, la théorie nous apprend que toutes les autres circonstances restant les mêmes: le rayon de la surface de pression est directement proportionnel à la racine cubique du rayon de courbure de la surface sphérique; à égalité de pression totale, la surface de pression reste la même, par conséquent la pression maxima est proportionnelle à la racine cubique du rayon de courbure du corps sphérique. Si cette pression maxima au moment de la cassure est prise comme mesure, sa valeur qui correspond à la limite d'élasticité doit être indépendante du rayon de courbure. Donc la valeur de limite de la pression totale doit être proportionnelle au carré du rayon de la surface de pression, ou si l'on exprime ici le rayon de la surface de pression par la pression totale et le rayon de courbe, la valeur limite de la pression totale doit croître avec le carré du rayon de courbure.

De ce qui précède, il résulte que dans les phénomènes qui se produisent dans le contact d'une surface plane et d'une surface sphérique d'une même matière, si l'on veut en déduire la dureté, il faut élever la pression sous laquelle a lieu le contact jusqu'à sa limite d'élasticité, constater exactement le moment où cette limite est atteinte et mesurer à ce moment deux grandeurs : la pression totale et le diamètre de la surface de pression.

On emploie le corps à surface sphérique sous la forme d'une lentille ayant de 1 à 30 millimètres de rayon de courbure, le corps à surface plane sous la forme d'une plaque ronde à faces parallèles d'un diamètre de 11 millimètres et de 8 millimètres d'épaisseur. La plaque est fixe, la lentille est libre; on exerce une pression au moyen d'un levier et de poids ajoutés progressivement.

L'appareil est disposé de telle manière que les observations puissent être faites sans qu'il y ait le moindre changement de position de la plaque et de la lentille, et même lorsqu'il s'agit de très petites grandeurs, on fait usage d'un microscope. La surface de pression apparaît alors comme une tache sombre circulaire, que l'on peut voir comme les anneaux qui l'entourent, — sorte d'apparition d'interférence. Il est intéressant d'observer les diamètres de ces anneaux, leur observation a son utilité.

L'appareil Abbe, généralement employé en Allemagne pour la détermination de la dureté (fig. 72), se compose d'un portant T, vissé sur un socle GG', et auquel est adapté un levier HH'. A l'extrémité H de ce levier est percée une ouverture *ll'* qui reçoit un tampon *z*, lequel sert de support à la lentille L.

Une plaque *oo'* supportée par des colonnes (non visibles sur la figure) qui s'appuient sur la semelle U, est percée d'une ouverture dans laquelle on engage la feuille de verre à essayer P.

L'appareil est disposé de telle manière qu'on puisse amener un point quelconque de la plaque P en contact avec la lentille Z et l'y maintenir par le serrage de la vis S^1. De la même façon on peut déplacer et maintenir au point voulu par la vis S^2, le microscope M. Ce microscope est éclairé par une flamme de gaz F dont les rayons sont renvoyés par le prisme *n*.

La vis A permet de placer le levier HH' dans les conditions voulues pour

empêcher tout contact prématuré entre la lentille Z et la plaque P. L'action du levier HH' peut encore être modérée au moyen d'un poids *w* qui peut glisser à l'extrémité d'un levier X. Le poids mobile *w* est placé de façon qu'entre la lentille et la plaque il reste encore un petit espace; le contact est donné par des petites rondelles *r* qu'on engage dans la goupille *g*. On reconnaît que le contact existe par la coloration en noir du centre.

Pour reproduire ce contact léger à chaque moment voulu et pour préciser la marche des essais, on ne charge pas directement le levier HH', mais bien un levier intermédiaire KK' qui porte le crochet R d'attache des poids. Ce crochet d'attache est relié au levier KK' par un cadre reposant sur l'encoche *e'* et dans l'intérieur dudit cadre se trouve un coussinet *e* qui exerce

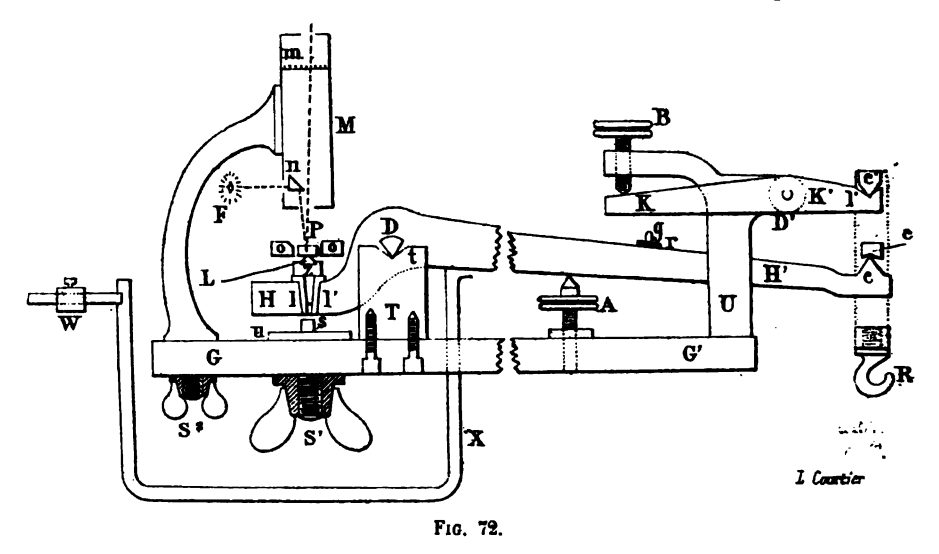


Fig. 72.

son action sur le couteau *c*. Les mouvements du levier KK' sont subordonnés à ceux de la vis de réglage B.

Par ces multiples combinaisons de leviers, on parvient à éviter tous les chocs et à manœuvrer aussi lentement et aussi sûrement qu'on le désire. D'une manière générale, on ne donne de surcharge qu'après avoir rétabli le contact simple et sans pression entre la lentille et la plaque; d'autre part quand on approche de la limite d'élasticité, les poids additionels doivent être très faibles.

Par l'emploi de cette méthode nouvelle, substituée au procédé bien imparfait du striage, Auerbach a pu déterminer dans des conditions d'exactitude satisfaisantes la dureté relative des corps amorphes. En ce qui concerne les verres, il a fait une étude très intéressante dont nous résumons ici les conclusions :

1° Le classement par ordre de duretés fourni par l'ancien procédé striage coïncide le plus souvent, mais non toujours avec l'ordre des duretés absolues.

2° La méthode du striage fournit des résultats qualitatifs et quantitatifs si embrouillés qu'elle est scientifiquement inutilisable.

3° La dureté absolue des verres n'est pas proportionnelle à leur résistance à l'écrasement entre deux surfaces planes. Le rapport varie du simple au double.

4° La dureté est une fonction linéaire des coefficients de durcissement des composants chimiques. Le plus élevé de ces coefficients est celui de l'alumine; les coefficients de la soude et de la chaux sont négatifs.

Le module d'élasticité à la pénétration μ est pour les différents verres de 3 à 9 pour 100, en moyenne de 5,3 pour 100 plus grand que le module d'élasticité à la traction. Par suite de cette différence, on obtient pour le coefficient p du verre (rapport de la contraction transversale à la dilatation longitudinale) des valeurs comprises entre 0,17 et 0,30 (en moyenne 0,227). Il est donc établi pour de nombreux corps d'une même famille que la valeur de μ peut s'écarter beaucoup de 0,25 dans un sens ou dans l'autre.

6° Entre la valeur de μ et la dureté existe une relation qui demande à être précisée et que l'on peut formuler provisoirement en disant que μ est d'autant plus petit que la dureté est plus grande et que le produit de ces deux quantités est approximativement constant.

7° La dureté des différents verres n'est pas proportionnelle au module d'élasticité. Le rapport entre ces deux quantités varie entre 0,029 et 0,046 (moyenne 0,037) (1).

Résistance à la pression. — Le verre est un corps élastique et par suite il est susceptible de déformations passagères sous l'action de la pression, déformations qui amènent la rupture quand la limite d'élasticité est dépassée.

Les expériences qui ont été faites à ce sujet ont porté particulièrement sur les récipients destinés à contenir des liquides sous pression. M. Salleron a déterminé pour les bouteilles à vin de champagne quelle est la pression qu'elles peuvent normalement supporter. Ce cas est particulièrement intéressant en raison de la valeur du liquide emmagasiné.

Les fabricants de vin de champagne ont constaté qu'une casse de 5 pour 100 des bouteilles en cours de préparation leur causait une perte équivalente au prix d'achat de cent bouteilles.

La casse des bouteilles est notablement augmentée pendant les temps orageux par suite probablement d'une augmentation de pression ou de ce fait que la différence de pression entre le liquide et l'atmosphère se trouve être accrue. Peut-être y a-t-il aussi une recrudescence de la fermentation.

Pour réduire cette casse, certains fabricants ont recours au procédé suivant : ils retournent la bouteille goulot en bas et congèlent le liquide plus aqueux qui se rassemble dans le col; ils enlèvent ensuite le glaçon formé.

D'après Maumené, les bouteilles à champagne arrivant de la verrerie sont très souvent capables de résister à trente atmosphères pendant les deux ou trois minutes que dure un essai, alors que, cependant, l'expérience prouve qu'une bouteille dans laquelle le gaz carbonique parvient à développer huit atmosphères pendant quelque temps, est une bouteille perdue.

D'après les essais auxquels MM. Pol Roger et Cie, d'Épernay, soumettent les bouteilles, ces Messieurs sont amenés à éliminer les bouteilles qui ne résistent pas à la pression intérieure constante de 17 atmosphères.

(1) Voir l'Appendice pour Nouvelle méthode de détermination de la dureté des verres.

Cet essai des bouteilles s'effectue à l'aide d'un appareil imaginé par M. Salleron. (Élasticimètre, fig. 73.)

Le verre est en effet un corps élastique, et sous l'influence de pressions intérieures, on voit les objets en verre, bouteilles, touries, etc., se gonfler et augmenter de capacité. Si sous une certaine pression les limites de l'élasticité du verre sont dépassées, la bouteille conserve une partie du gonflement éprouvé et ne reprend plus sa capacité primitive lorsqu'on supprime la pression.

Voici comment M. Salleron l'a démontré : au col d'une bouteille, on adapte un tube *ab* de faible diamètre divisé en centièmes de centimètres cubes et

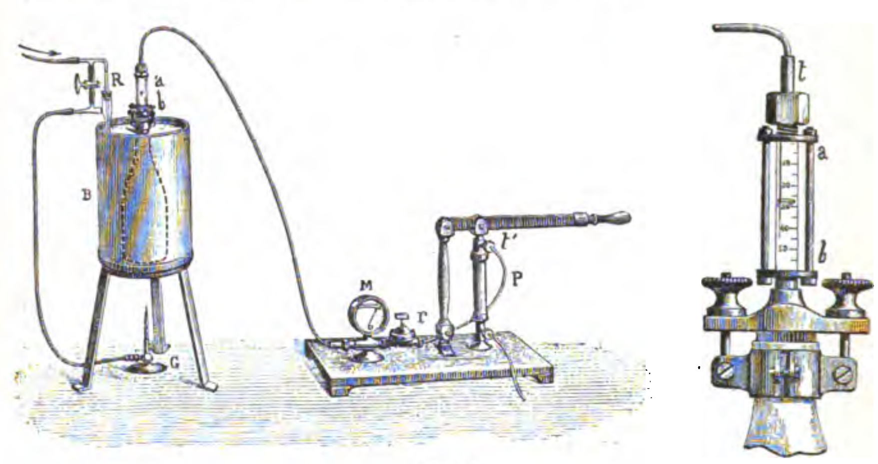


Fig. 73.

constituant un prolongement très étroit du col de la bouteille, ce tube permettra de mesurer exactement, par la diminution de volume du liquide dont la bouteille et le tube sont remplis, les changements de capacité qui peuvent se produire dans la bouteille.

La partie supérieure *a* du tube gradué est mise en communication à l'aide du tube de raccord *t* avec une petite pompe foulante P qui comprime l'air emprisonné au-dessus de l'eau. Un manomètre M donne à chaque instant la pression à laquelle la bouteille est soumise. Enfin, la bouteille est immergée au sein d'un bain-marie B qui l'amène à une température déterminée, laquelle peut être maintenue constante grâce au thermo-régulateur R.

Une bouteille du poids de 985 grammes et d'une capacité de 825 centimètres cubes, maintenue dans le bain-marie à une température de 10 degrés et soumise graduellement à une pression s'élevant à 10 atmosphères, a eu son volume augmenté de $0^{cc},60$.

Pour 13 atmosphères, l'augmentation a été de $0^{cc},80$ et de $0^{cc},90$ pour 14 atmosphères.

Donc cette bouteille a subi dans sa constitution une modification profonde qui doit nécessairement diminuer sa résistance. Quand, à un moment donné, les molécules sont parvenues à la limite de l'écartement qui correspond à la largeur d'un de leurs côtés, ou ont plus ou moins dépassé cette limite, le

verre se rompt dans certaines régions internes; si l'effort persiste, les lésions s'agrandissent, se propagent jusqu'à ce que le verre se détache en morceaux. En examinant à la loupe la tranche des fragments de verre cassés, très souvent on voit des esquilles, des fissures produites par le changement d'état permanent du verre.

Toutes les actions extérieures qui tendront à déplacer les molécules du verre : élévation de la température, vibration, chocs plus ou moins violents, auront une influence considérable sur la résistance du verre et auront pour effet de diminuer notablement cette résistance.

Dans un autre ordre d'idées, l'inégale épaisseur du verre et la composition chimique joueront également un rôle important : une épaisseur irrégulière amène en effet une recuisson inégale des diverses parties du verre; quant à la composition chimique, elle fait varier dans d'énormes proportions la ténacité du verre, sa résistance aux actions chimiques des liquides que les objets en verre sont appelés à contenir.

Tout ce que nous venons de dire, relativement à la résistance des bouteilles, s'applique à tous les récipients en verre quelle que soit leur capacité. C'est même dans le cas des pièces d'un volume considérable que les soins à apporter dans la fabrication doivent être plus minutieux.

Ce qui rend en effet les bonbonnes, touries, etc., relativement moins résistantes que les bouteilles, c'est la difficulté de les obtenir d'une épaisseur absolument régulière, aussi dans un travail que nous avons été appelé à faire à ce sujet (1) — et où les personnes que ces questions intéressent trouveront des renseignements plus nombreux et plus détaillés que ceux que nous pouvons donner ici, — il a été dit que pour les touries employées au transport des produits chimiques et autres liquides, il nous semble indispensable d'avoir recours comme moyen de fabrication au soufflage à l'air comprimé, préconisé par M. M. Appert.

CHAPITRE VI

Irisation du verre. — Avant de terminer ce qui a trait aux propriétés physiques et chimiques du verre, nous devons citer le phénomène qui se produit sur les verres anciens enfouis, et qui figurent dans beaucoup de collections particulières et de musées, l'irisation en un mot. Ce phénomème se produit naturellement sur des verres exposés à l'air humide, ou même placés à l'abri de l'air dans un milieu humide. Le verre est plus ou moins irisable suivant sa composition, suivant sa dureté. Les anciens verres diffèrent des verres actuels en ce qu'ils contenaient beaucoup moins de chaux que ces derniers.

En examinant des verres anciens, décomposés partiellement, on remarque à la surface une substance spéciale qui se sépare en écailles dont la composition

(1) Henrivaux, *La Résistance du verre*, etc., 1892, grand in-8°.

est différente de celle du verre. Les alcalis font presque défaut dans ces écailles qui consistent en silicate terreux ; la teneur en silice s'élève jusqu'à 78 pour 100, tandis que le verre normal n'en contient que 68. (On a alors un verre dont la surface moins alcaline sert de couverte au verre intérieur.) Cette couverte se détachant, l'eau pénètre par les fissures et l'altération du verre se produit avec plus de rapidité. Ce phénomène semble indiquer l'utilité du trempage des feuilles de verre à vitres dans l'acide chlorhydrique pour tremper en quelque sorte la surface des feuilles et les rendre ainsi moins altérables.

« MM. Frémy et Clémandot ont voulu reproduire, d'une manière régulière, *cette irisation du verre qui lui donne l'aspect de la perle ou de la nacre*, et surtout la rendre adhérente au verre (1).

» Après des essais nombreux, ces savants sont arrivés à résoudre le problème de la manière la plus complète. Ce procédé consiste à soumettre le verre, sous l'influence de la chaleur et de la pression, à l'action de l'eau contenant 15 pour 100 environ d'acide chlorhydrique.

» Plusieurs espèces de verre conviennent à cette opération; mais d'autres ne s'y prêtent pas; les conditions du recuit et de la trempe exercent de l'influence sur le phénomène. »

L'irisation donne ainsi des indications utiles sur la résistance du verre à l'action des agents qui peuvent se décomposer. Ce mode d'appréciation de sa donne qualité du verre peut guider utilement dans la fabrication des verres d'optique et celle des lentilles destinées aux instruments d'astronomie.

Les magnifiques irisations que l'on remarquait à l'Exposition de 1878 chez M. Lobmayr, de Vienne, sont obtenues en soumettant les pièces de verre à iriser à l'action d'oxydes métalliques vaporisés, tels que les chlorures d'étain, les nitrates de baryte ou de strontiane, lorsque ces pièces sont dans les fours à recuire et sont encore à la température rouge sombre. Certains fabricants ajoutent des sels de bismuth dans la composition même du verre.

Pour iriser dans le moufle, on se sert de deux moufles dont l'un doit exclusivement servir à l'irisation.

Dans le premier moufle, on chauffe faiblement les objets à iriser, de façon que les carreaux sur lesquels se trouvent les objets commencent à devenir rouges.

Entre temps, le second moufle est tout à fait rouge, et aussitôt que les objets ont atteint le degré de chaleur voulu, on les place rapidement dans ce second moufle, sur le fond duquel on étend de la poudre d'iris (sel d'étain) jusqu'à ce que le moufle s'emplisse de fortes vapeurs.

Pendant ce temps, le moufle reste ouvert et est fermé ensuite, à l'exception de l'orifice d'observation qui reste ouvert; on laisse les objets irisés s'y refroidir. Si la manipulation est bien faite, l'irisation se fera vivement et également.

Un inconvénient fréquent est le crépitement de la poudre d'iris. On y remédie en l'arrosant faiblement avec de l'acide chlorhydrique étendu, ou mieux encore avec une dissolution d'azotate de cuivre. Il est bon aussi d'arroser avec une cuiller cette préparation qui se gonfle dans le moufle.

(1) Frémy et Clémandot, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXIV, janvier 1877.

On peut donner au verre des irisations de toutes nuances, et ce fait est connu depuis bien longtemps, ainsi qu'on peut le voir par le passage suivant tiré d'un ouvrage sur la verrerie en 1752.

« *Manière de donner au cristal de roche sans le fondre une couleur de vipère.* — On prend des morceaux de cristal de roche de différentes grandeurs, on choisit ceux qui sont bien purs et sans aucun défaut, on y joint d'antimoine et d'orpiment bien pulvérisés, de chacun deux onces, et de sel ammoniac une once; l'on met ces matières pulvérisées au fond d'un creuset et l'on arrange par-dessus les morceaux de cristal dont on vient de parler. L'on couvre le creuset d'un autre creuset renversé, de façon que l'ouverture de l'un soit appliquée à l'ouverture de l'autre; on les lute bien; après que le lut est séché, on met le tout au milieu de charbons qu'on laisse allumer petit à petit et d'eux-mêmes; le creuset, en commençant à sentir l'action du feu, fumera considérablement; il faut pour cette opération une cheminée fort large; lorsque la fumée s'élèvera, le parti le plus sûr sera de sortir du laboratoire, car cette vapeur est mortelle. Lorsqu'il ne viendra plus de fumée, on laissera le feu s'éteindre de lui-même, et le creuset se refroidir : on en ôtera pour lors les morceaux de cristal. Ceux qui seront à la surface du creuset seront de couleur d'or, de rubis balais et marqués de différentes couleurs; ceux qui seront au fond seront pour la plupart de couleur de vipère ou truités : on pourra polir à la roue et brillanter ces cristaux comme on fait d'autres pierres précieuses. Les autres morceaux de cristal, montés en or et garnis d'une feuille, seront fort beaux et feront un bel effet à la vue. Cette opération n'étant ni longue ni coûteuse, on pourra en colorer une bonne quantité : il se trouvera toujours sur le grand nombre quelques morceaux d'une singulière beauté. »

CHAPITRE VII

Sur la composition normale du verre. — Les verres sont-ils des composés définis, ou bien ne doit-on les considérer que comme de simples mélanges de diverses substances déterminées?

La raison pour laquelle cette importante question n'a point encore été résolue provient de ce qu'elle n'a point été placée sur son véritable terrain. Au lieu de chercher, comme on l'a fait jusqu'à présent, une composition moyenne pour les verres du commerce, il faut, au contraire, s'efforcer de déterminer ce que devrait être leur composition normale. En un mot, quelle serait la composition du verre qui, pour les divers emplois de la pratique, présenterait la plus grande résistance, serait du meilleur usage, et abstraction faite de ce que l'on est en droit d'attendre des progrès de l'avenir, pourrait être, dès à présent, considéré comme du « verre normal ».

On peut s'assurer de la valeur intrinsèque des divers produits commerciaux qui sont du ressort de la chimie industrielle soit par des essais qui déterminent

combien ils renferment de matières utiles, soit par l'examen de leurs propriétés physiques, qui, lorsqu'il s'agit du fer par exemple, permettent de constater la présence des éléments utiles ou nuisibles; mais pour le verre il n'en est point ainsi, c'est ce qui a obligé M. Benrath à rejeter tous les verres de provenance douteuse, pour concentrer son attention sur ceux qui sortent des fabriques les plus renommées, telles que celles de la Compagnie de Saint-Gobain et des verreries de Birmingham.

Ces verres, comme on le verra plus bas dans le tableau des analyses, sont remarquables par leur forte teneur en chaux ; ce sont, en même temps, ceux qui résistent le mieux à l'humidité et aux divers agents atmosphériques, condition essentielle pour les verres à glaces ou à vitres pour lesquels on a surtout à craindre l'altération du poli et de la surface.

Bien que, dans le plus grand nombre de fabriques, une proportion de chaux au delà de 5 à 6 pour 100 soit considérée comme anormale, il n'en est pas moins vrai que c'est à cette forte proportion de chaux que le verre doit sa propriété de mieux résister à l'action des agents de décomposition.

Voici deux analyses parallèles d'un verre antique en partie décomposé, faites par M. Hausmann :

	Partie intacte.	Partie décomposée.
Silice	59,20	48,80
Alumine	5,60	3,40
Chaux	7,00	11,30
Magnésie	1,00	6,80
Fer	2,50	11,30
Soude	21,70	0,00
Potasse	3,00	0,00
Eau	0,00	19,30

On peut être autorisé à ne point considérer les verres très pauvres en chaux comme étant à proprement parler de bons verres.

Si maintenant on compare les verres de Venise, si estimés jadis et encore si appréciés à notre époque, les verres des meilleures fabriques de Bohême, le verre à glaces coulé de Saint-Gobain et des frères Chance et C[ie], de Birmingham, on verra que tous ces verres, aussi différents par le lieu et l'époque de leur fabrication que par les usages auxquels ils sont destinés, présentent entre eux des analogies surprenantes et peuvent être ramenés à une composition fondamentale commune à tous. Par quelle formule représenter cette composition ? M. Benrath, se basant sur un grand nombre d'analyses de ces diverses espèces de verre, dans le détail desquelles nous n'entrerons pas, s'est décidé à choisir la formule :

$$5 \left.\begin{matrix} Na \\ K \end{matrix}\right\} 0,3SiO^3 + 7(CaO,3SiO^3) \quad (1)$$

comme pouvant s'appliquer à l'expression de la formule chimique du *verre*

(1) Les équivalents adoptés dans ces recherches sont :
K = 39,2; Na = 23; Ca = 20; Mg = 12; Al = 13,7; Si = 14; O = 8.

normal. Dans le tableau des analyses, il a ajouté au résultat direct le calcul de la teneur en *verre normal* de l'échantillon examiné. L'alumine est ajoutée à l'oxyde de fer.

Après avoir calculé la teneur en verre normal, s'il reste de la soude (ou de la potasse) en excès, on la considère comme combinée à la silice libre à l'état de trisilicate ; si l'une de ces deux substances reste encore en excès, elle est comptée comme soude libre ou silice libre.

Pour mieux faire comprendre les tableaux, nous prendrons comme exemple l'analyse du verre à glaces de Munsterbusch, faite par Jackel :

SiO^3......... = 72,31	0,81 %	Al^2O^3 + 0,95 % SiO^3 =	1,76 %	argile.
NaO......... = 11,42	10,24 12,95	NaO } CaO } + 71,36 SiO^3 =	94,55	verre normal.
CaO........ = 14,96			1,18	soude.
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$ = 0,81			2,01	chaux.
99,50			99,50	

Dans les analyses des verres anciens et modernes mentionnés plus haut, on trouve une teneur en chaux relativement élevée, et l'on peut dire, en résumé, que le rapport entre la chaux d'une part, et la potasse (ou la soude) correspondante d'autre part, est compris entre les limites de :

1° Deux équivalents des deux bases ;

2° Trois équivalents de chaux pour deux de soude (ou potasse).

Si deux verres se comportent de la même façon extérieurement, et que l'un se montre plus riche en chaux, ce dernier est à préférer, car il sera beaucoup plus résistant aux agents chimiques.

Si l'on accepte comme normale la composition exprimée par la formule ci-dessus, les verres paraissent bons autant qu'ils renferment de 87,5 à 94,5 pour 100 de verre normal, tout écart tendant à le rendre plus mou, plus facilement fusible.

A côté des verres présentant une composition qui se rapproche de la formule que l'auteur considère comme normale, il en est dans le commerce, et même en plus grand nombre, qui se distinguent par leur faible teneur en chaux.

Comment les fabriques ont-elles été amenées dans cette voie que les anciennes verreries françaises, vénitiennes et bohémiennes avaient constamment évitée ?

On peut expliquer ce fait en montrant comment on dut substituer successivement aux salins de potasse la soude naturelle, la soude d'Alicante, etc., et enfin la soude artificielle tirée du sel de Glauber ; ignorant la véritable composition de leurs produits, les verriers employaient toujours les mêmes proportions. Lorsqu'on fit les premiers essais de substitution d'un sel à un autre, le verre se laissant facilement fondre et affiner, on jugea inutile de faire de nouvelles tentatives, et il resta bien acquis que l'on opérait pour le mieux et comme les anciens.

Prenons pour exemple l'analyse d'un verre blanc français faite par M. Pelouze :

Silice	77,30
Soude	16,30
Chaux	6,40
Alumine et fer	traces.
	100,00

Supposons qu'au lieu de la soude artificielle (renfermant 50 pour 100 de soude caustique) on ait employé, pour faire ce verre, un poids égal de soude d'Alicante (renfermant environ 39 pour 100 de soude caustique), la composition de ce verre serait à peu près celle-ci :

Silice	76,70
Soude	12,00
Chaux	11,30
	100,00

Ce serait un produit tout à fait analogue aux anciens verres vénitiens et bohémiens.

Jusqu'en 1857, au moins, les fabriques anglaises ont ignoré la cause des plaintes nombreuses qui leur étaient adressées; leurs produits devenaient ternes, se couvraient d'efflorescences, et l'importation étrangère croissait de jour en jour.

D'après Daglish, de nombreux essais furent alors tentés pour obtenir un verre de meilleure qualité et dans la plupart des cas les résultats se montrèrent très satisfaisants.

Comme on l'a déjà dit, le verre riche en chaux doit être préféré, à tout point de vue, par le consommateur; mais il est évident que le producteur a des raisons pour continuer à fondre du verre pauvre en chaux aussi longtemps que la concurrence ou le goût du public ne l'obligeront point à en cesser la fabrication.

Voici d'ailleurs, un tableau comparatif de ces deux espèces de verres :

VERRE PAUVRE EN CHAUX.	VERRE RICHE EN CHAUX.
Fond et s'affine complètement et facilement.	Exige une plus haute température pour la fusion et l'affinage.
Attaque les creusets moins que les verres riches en chaux.	Attaque plus vivement les creusets, mais indirectement à cause de la plus haute température qu'exige la fonte.
Il est mou et se laisse facilement rayer et polir, mais aussi le poli s'altère plus rapidement.	Dur, se polit lentement, mais prend un poli meilleur et durable.
Il est cassant.	Résiste beaucoup mieux à l'influence de l'eau et des autres agents chimiques, ainsi qu'aux brusques changements de température. Il est élastique.

D'après certains auteurs, le verre riche en chaux se dévitrifie plus facilement. La question est controversée, témoin les essais de Pelouze (*Comptes rendus de l'Académie*, t. LXIV), et la réponse de M. Bontemps, qui attribue la principale cause de dévitrification non pas à la silice, mais à la chaux. Cette dernière assertion est réfutée à son tour par M. Clémandot : « Si le verre renferme trop de chaux, il peut se dévitrifier, il est vrai, mais un excès de silice ou d'oxyde de plomb produit tout aussi bien la dévitrification. » D'après M. Benrath, ce dernier point de vue est le vrai, et il y aurait grand intérêt à chercher à établir quel est le maximum de silice et de chaux que l'on peut sans danger introduire dans le verre.

En résumé :

1° A l'exception du verre ordinaire à bouteilles et des verres à une seule base, reconnus comme mauvais, le verre non plombeux se rapproche, dans sa composition, en partie de la formule :

$$5\left.\begin{matrix}Na\\R\end{matrix}\right\} O,3SiO^3 + 7(CaO,3SiO^3),$$

d'une part, et, d'autre part, de la suivante :

$$5(2NaO,7SiO^3 + 2(CaO,7SiO^3).$$

De ces deux sortes de verre, la première est fabriquée principalement à Venise, en Bohême et en Allemagne, la seconde en France et en Angleterre.

2° Le verre riche en chaux est plus apte à répondre aux justes exigences du public qui réclame la plus grande dureté possible, de l'élasticité et de la force de résistance aux agents chimiques.

3° La première de ces formules donne, d'après les essais tentés jusqu'ici, le maximum de valeur pour la silice et la chaux dans un bon verre. On ne saurait néanmoins dépasser cette proportion d'une manière un peu notable sans s'exposer à la dévitrification, soit dans le four à fondre quand on le refroidit pendant le travail, soit dans le four à étendre ou à recuire.

Il résulte de tout ce qui a précédé jusqu'ici que M. Benrath considère le verre comme un composé défini, plus ou moins pur il est vrai, comme le sont tous les produits commerciaux dont la valeur croît en raison de leur richesse et de leur pureté. Le tableau des analyses montre d'ailleurs que les meilleurs verres ne sont autre chose que du verre normal rendu un peu fusible par un léger excès de fondant, et qu'ils tendent à se rapprocher d'un type unique vers lequel on doit s'efforcer de ramener tous les verres dont on veut améliorer la qualité.

Voici le résultat de quelques expériences pour éprouver la résistance aux agents chimiques des différents verres :

Les verres nos 1, 28 et 29 (p. 138), pulvérisés aussi uniformément que possible, furent abandonnés pendant quarante-huit heures sur le bain de sable avec trois fois leur volume d'acide chlorhydrique dilué ; la dissolution fut ensuite filtrée, le résidu lavé à l'eau chaude et desséché à 100 degrés.

Verre n° 1 de Munsterbusch (Cie de Saint-Gobain)

Verre normal.........	96,55	p. 100
Argile................	0,65	—
Soude................	2,45	—
Chaux................	0,44	—
	100,09	p. 100

Après l'expérience, on constata une perte de 1,52 pour 100.

Verre n° 28 de Ravenhead (Saint-Hellens).

Verre normal.........	47,96	p. 100
Argile................	1,62	—
Silicate de soude........	51,16	—
Silice en excès........	0,08	—
	100,82	p. 100

La perte de poids fut 3,04 pour 100.

Verre n° 29 de Stolberg (Cie d'Aix-la-Chapelle).

Verre normal..........	47,53	p. 100
Argile...............	3,57	—
Silicate de soude.......	30,33	—
Silice en excès........	18,37	—
	99,80	p. 100

La perte de poids fut de 1,84 pour 100.

On voit, par là, que le verre n° 1, riche en chaux, bien que n'étant point saturé de silice comme le verre n° 28, qui renferme peu de chaux, s'est montré néanmois deux fois aussi résistant.

Le verre n° 29, de Stolberg, contient un grand excès de silice et malgré cela, sa résistance aux agents chimiques est moindre que celle du verre n° 1, qui contient 96,55 pour 100 de verre normal.

LIVRE TROISIÈME

Analyse des verres et des silicates. — Certains silicates sont directement attaquables par les acides, d'autres ne peuvent être dissous intégralement par ces derniers qu'après addition en quantité convenable d'une base, de la chaux par exemple.

Les silicates anhydres ou hydratés qui se trouvent dans la nature ou qui sont produits dans l'industrie, présentent la plus grande variété de composition, même lorsqu'ils ne renferment pas d'autres composés, tels que des fluorures, des chlorures, des phosphates, etc. On peut cependant indiquer d'une manière générale quelle marche il convient de suivre pour les analyses (1).

L'attaque d'un silicate se fait au moyen de la chaux ou de la baryte; il faut en ajouter le moins possible, cependant il faut l'employer en quantité telle, qu'en pulvérisant le verre obtenu et le reprenant par les acides, la silice se prenne en gelée. La pratique apprend que, pour rendre le verre à bouteilles attaquable, il faut lui ajouter de 10 à 20 pour 100 de carbonate de chaux; le verre à vitres en exige un peu plus.

En général, on peut dire que la quantité de chaux à ajouter est proportionnelle à la quantité de silice contenue dans l'échantillon à analyser; le maximum devra correspondre à la silice pure qui exige 110 à 120 pour 100 de carbonate de chaux.

Quand on fait une analyse, on ne connaît que très approximativement la quantité de silice par les essais au chalumeau. Dans l'incertitude il vaut mieux mettre plus de chaux que moins; cependant il ne faudrait pas exagérer la quantité de chaux employée pour attaquer les silicates, car la plupart renferment des bases un peu volatiles, telles que la potasse et la soude, qu'il ne faut pas mettre en liberté, de peur qu'elles ne se volatilisent.

Quand on s'est servi du mortier d'acier pour broyer le silicate, il est nécessaire d'enlever au silicate pulvérisé, l'acier qui a été détaché du pilon et du mortier; on y arrive à l'aide d'un barreau aimanté; pour cela, on étale le silicate pulvérisé sur une feuille de papier verni, et on promène le barreau dans tous les sens jusqu'à ce qu'il n'enlève plus aucune parcelle de la poudre.

Le mélange étant pesé, on le rend aussi intime que possible, puis on le fait tomber dans un creuset de platine.

Cette poudre ayant pu prendre de l'humidité; on met un instant le creuset sur la petite lampe, bec de Bunsen (fig. 74), et l'on chauffe à une température

(1) Cette méthode adoptée aux laboratoires de l'École normale est due à M. H Sainte-Claire Deville.

telle qu'aucune partie de la surface de la matière ne devienne incandescente; on laisse refroidir et l'on reporte sur la balance : on trouve toujours une différence provenant de ce que le carbonate de chaux contenait un peu d'eau hygroscopique.

La matière étant ainsi préparée, on chauffe pendant quinze ou vingt minutes à la lampe moyenne, lampe à gaz alimentée par une soufflerie (fig. 75) (1), de manière que le carbonate agisse sur le silicate sans fondre. Après avoir ainsi chassé l'acide carbonique on porte sur la grande lampe, et il faut que le verre obtenu soit bien fondu, homogène, et s'il est incolore, transparent.

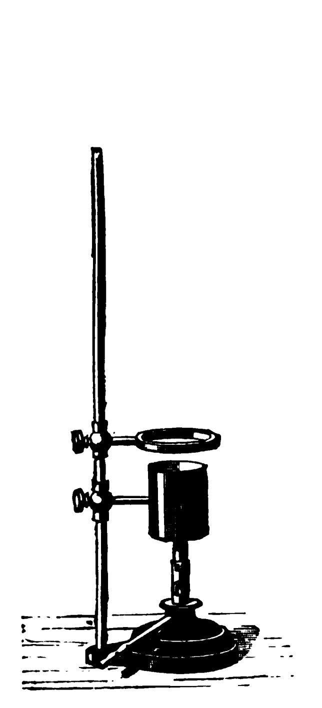




Fig. 74.

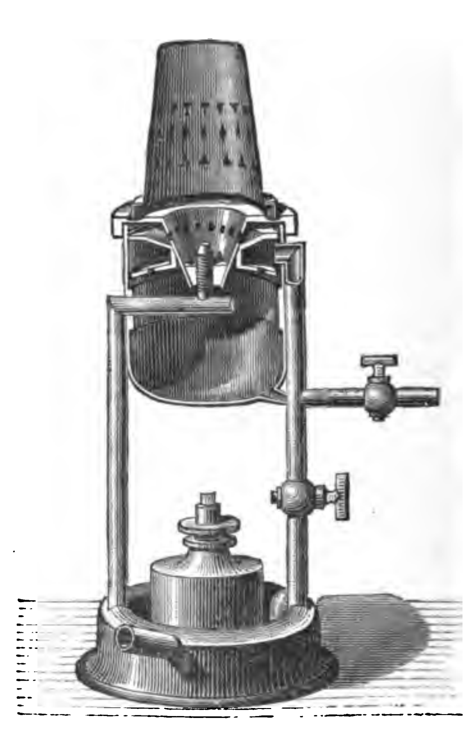


Fig. 75

On note toutes es particularités observées, et on détermine le poids du verre ainsi produit.

Puis on détache le verre du creuset avec autant de soin que possible : on l'introduit dans un mortier d'agate, on le broie avec soin, mais sans pousser trop loin la pulvérisation. Cela fait, on met le verre pulvérisé dans une capsule de platine tarée à l'avance; on la porte sur la balance après avoir chauffé à 200 ou 300 degrés, et l'on pèse le verre qui va être analysé.

La matière vitreuse mouillée d'eau est attaquée par l'acide nitrique; on met la capsule sur le bain de sable, on chauffe à une température telle qu'il ne se

(1) Lampe Sainte-Claire Deville, fabriquée par M. Wiesnegg, et alimentée par l'essence de térébenthine.

dégage plus d'acide nitrique et qu'il commence à se produire des vapeurs nitreuses.

Si la matière contient du fer ou du manganèse, il faut attendre que la teinte soit uniformément rouge ou noire, alors on ajoute dans la capsule assez de nitrate d'ammoniaque en dissolution concentrée pour humecter toute la masse; on chauffe sur le bain de sable en recouvrant la capsule avec un entonnoir, puis on découvre après un instant et l'on flaire la matière. Si l'on perçoit nettement l'odeur de l'ammoniaque, on continue; dans le cas contraire, avec une baguette de verre on ajoute une goutte d'ammoniaque, on agite la matière et l'on voit si l'odeur ammoniacale persiste et s'il se forme un précipité; ordinairement il ne se forme pas de précipité et l'on peut être certain que toute l'alumine a été précipitée par la calcination; on laisse digérer sur le bain de sable jusqu'à ce que l'on soit bien certain que le nitrate d'ammoniaque a pénétré partout, puis on ajoute un peu d'eau et l'on décante la liqueur sur un filtre pour prévenir tout accident.

On remet de l'eau dans la capsule, on fait bouillir, on décante encore, on lave ainsi une douzaine de fois en s'assurant bien que l'eau bouillante pénètre toute la masse; enfin on arrête ce lavage quand, en évaporant une partie de la liqueur décantée sur une feuille de platine, elle ne laisse aucun résidu.

Alors la matière soumise à l'analyse est partagée en deux portions : d'une part, on a dans un vase les matières solubles dans le nitrate d'ammoniaque; d'autre part, les matières insolubles restées dans la capsule.

Les matières insolubles de la capsule sont traitées par l'acide nitrique qu'on laisse digérer à chaud : l'acide nitrique dissout l'alumine et le peroxyde de fer.

S'il n'y a pas de manganèse, la silice qui reste est blanche; s'il y a du manganèse, la silice est noire.

On lave la silice; les eaux de lavage évaporées dans un creuset de platine sont calcinées.

On pèse le mélange d'alumine et d'oxyde de fer.

Si la silice contient du peroxyde de manganèse, on la lave avec de l'acide sulfurique étendu, en y ajoutant un cristal d'acide oxalique.

L'acide oxalique décompose le bioxyde de manganèse et le transforme en protoxyde qui se dissout dans l'acide sulfurique; on lave le sulfate de manganèse, on évapore le sulfate mélangé d'acide sulfurique, dans un creuset de platine, on calcine à 300 ou 400 degrés, et l'on pèse le sulfate de manganèse : la silice reste à l'état de pureté après tous ces traitements et tous ces lavages, tant dans la capsule que sur le filtre qui sert aux décantations.

Toutes ces décantations ont dû être faites sur le même filtre. On remet le filtre sur la silice dans la capsule, on sèche le tout ensemble doucement sur le bain de sable, et l'on calcine modérément le filtre qui doit brûler et la silice doit devenir blanche.

Alors on porte la capsule et son couvercle sur la balance, et l'on pèse rapidement ; tant que la capsule se refroidit, le poids qu'il faut mettre sur la balance du côté de la silice pour obtenir l'équilibre diminue de plus en plus par suite du refroidissement de l'air environnant; d'un autre côté, à mesure que ce

refroidissement a lieu, la silice absorbe l'humidité au point que son poids en est altéré et augmente à vue d'œil.

On met donc sur la balance la capsule encore chaude, on retire des poids du côté où se trouve la silice jusqu'à ce que l'augmentation de poids de la silice cesse d'être rapide; il y a un moment d'arrêt pendant lequel la balance reste en repos; on note le poids à ce moment, on a ainsi le poids de la silice.

Au point où nous en sommes de l'analyse, on a pesé : 1° la silice; 2° le mélange d'alumine et de fer contenant un peu de manganèse. Pour en avoir fini avec cette partie de l'analyse il faut : 1° vérifier la pureté de la silice; 2° séparer le fer et les traces de manganèse de l'alumine.

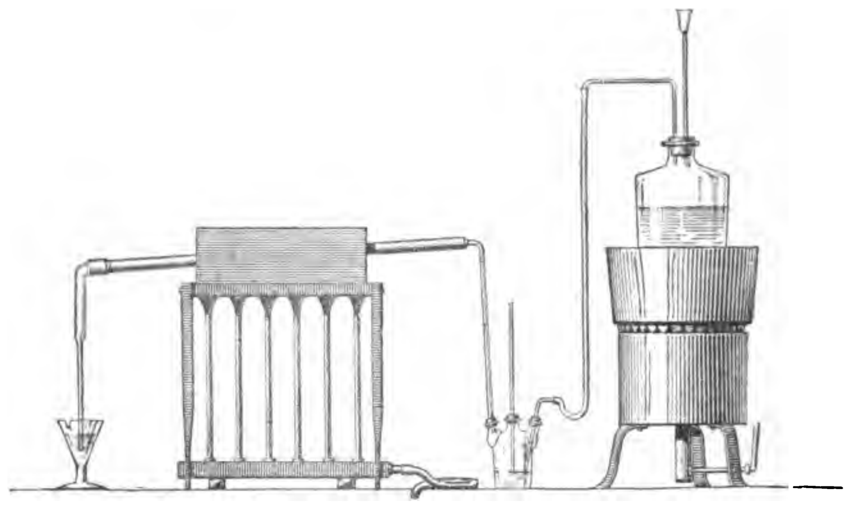


Fig. 76.

Pour vérifier si la silice est pure, on la dissout dans l'acide fluorhydrique très étendu; si elle est bien pure, elle ne doit laisser aucun résidu sensible, sauf les cendres du papier. On évapore avec un peu d'acide sulfurique, et le résidu doit être nul.

Après avoir pesé le creuset qui contient le mélange calciné de fer et d'alumine, on extrait la matière du creuset; le mélange est introduit dans une petite nacelle de platine tarée préalablement dans un petit tube bouché avec du liège. Cette nacelle est chauffée au rouge, puis pesée de nouveau avec son étui. On introduit alors la nacelle dans un tube de platine ou de porcelaine au moyen d'un petit chariot qui conduit la nacelle jusqu'à la partie du tube qu'on doit chauffer. On porte le tube au rouge en y faisant passer un courant d'hydrogène; quand le fer est réduit, on remplace le courant d'hydrogène par un courant d'acide chlorhydrique gazeux, que l'on maintient pendant une heure ou deux. La figure 76 représente la disposition générale de cette partie de l'analyse.

On peut mettre à l'extrémité du tube un petit ballon dans lequel viennent se

condenser les matières volatiles, s'il s'en exhale du tube. Quand le courant d'acide chlorhydrique a été jugé suffisant, ce qui a lieu lorsqu'il ne se produit plus de protochlorure de fer, on supprime le courant, on fait passer de nouveau de l'hydrogène pour chasser les vapeurs d'acide chlorhydrique; puis on laisse refroidir le tube avant d'en extraire la nacelle. Celle-ci est remise dans son étui et pesée de nouveau; l'augmentation du poids qu'elle a subie donne le poids de l'alumine.

La séparation de l'alumine serait complète si ce corps était parfaitement pur; mais elle ne l'est pas, si l'on n'a pas suffisamment lavé la matière qui provient de la dessiccation des nitrates. Dans ce cas, cette matière qui a été traitée par l'acide chlorhydrique, peut contenir de la chaux restée avec l'alumine. La chaux se trouve alors à l'état de chlorure de calcium : pour voir ce qu'il en est, on humecte l'alumine avec une petite quantité d'eau et l'on décante; on lave plusieurs fois l'alumine, on la sèche de nouveau; la nacelle est remise dans son étui et pesée : il ne doit point y avoir de changement de poids, et une goutte d'oxalate d'ammoniaque ne doit pas donner de précipité dans l'eau de lavage si l'alumine est pure.

Dans le cas d'un précipité, on a en même temps une diminution du poids d'alumine : on lave l'alumine, on la sèche et on la pèse. On prend pour poids définitif de l'alumine le dernier poids obtenu ; la différence avec le premier, divisée par 2, donne le poids de la chaux :

$$(CaO = 28.CaCl = 56).$$

Pour vérifier ce poids, on précipite par l'oxalate d'ammoniaque toute la chaux contenue dans les eaux de lavage, on calcine et l'on pèse, ce qui donne directement le poids de la chaux.

Pour connaître par différence la quantité de fer et de manganèse qui existe dans la matière en même temps que l'alumine, on retranche de la quantité totale soumise à l'analyse : 1° le poids de l'alumine pure; 2° le poids de la chaux; la différence donne le poids du mélange de fer et de manganèse.

Séparation du fer et du manganèse. — Si la matière ne contient pas de manganèse, ou s'il n'est pas nécessaire de doser le manganèse séparément, l'analyse des matières insolubles dans le nitrate d'ammoniaque est terminée. Mais si l'on veut séparer le fer et le manganèse, on a recours à la méthode suivante :

On fait arriver dans le tube de platine un courant de vapeur d'eau provenant d'une cornue contenant de l'eau distillée et quelques gouttes d'acide chlorhydrique. Cette eau se condensera dans le tube et entraînera avec elle dans le ballon tout le chlorure de fer et de manganèse produit par la volatilisation. Le lavage opéré, on met les eaux dans un petit creuset et l'on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique. On évapore à sec et l'on calcine doucement les sulfates jusqu'à ce qu'ils ne perdent plus de poids, on pèse le mélange de sesquioxyde de fer et de sulfate de manganèse. On verse un peu d'eau sur le sulfate, on décante, on lave sur un filtre, puis on calcine le filtre avec le peroxyde

de fer; on pèse et l'on a un poids d'oxyde de fer qui, retranché du poids obtenu précédemment, donne celui du sulfate de manganèse. En ajoutant la quantité d'oxyde rouge de manganèse déduite du poids de sulfate à l'oxyde de fer, on doit arriver exactement au poids total de manganèse et de fer qu'on a calculé par différence au moment où l'on a fait la pesée de l'alumine pure. Cette vérification dispense de la pesée directe du sulfate de manganèse : si cependant on voulait la faire, on évaporerait le sulfate résultant du lavage et l'on pèserait le manganèse sous cette forme.

On vérifie les opérations précédentes de la manière suivante :

1° L'alumine doit être incolore ou à peine colorée en gris; elle doit être soluble dans le bisulfate de potasse en grand excès et au rouge sans laisser de résidu;

2° L'oxyde de fer, traité au chalumeau par le carbonate de soude à la flamme d'oxydation, ne doit donner aucune coloration verte;

3° Le sulfate de manganèse, traité par le sulfate d'ammoniaque, un peu d'acide nitrique et l'ammoniaque, ne doit donner aucun précipité sensible.

Analyse des matières solubles dans le nitrate d'ammoniaque. — Elles contiennent : 1° chaux, 2° magnésie et quelquefois manganèse, 3° potasse, 4 soude.

La liqueur contient d'abord une certaine quantité de chaux, celle que l'on a introduite pour l'attaque. On pèse grossièrement une quantité d'oxalate d'ammoniaque pur et cristallisé, telle qu'elle précipite entièrement et au delà cette quantité de chaux. Il suffit pour cela de multiplier le poids de la chaux par le nombre 2 1/2 et de mettre ce poids d'oxalate bien pulvérisé dans la liqueur; on agite et on laisse reposer. Quand la liqueur est limpide, on ajoute deux ou trois gouttes d'oxalate d'ammoniaque dissous, et, s'il y a un précipité, on peut être sûr qu'il y avait de la chaux dans la matière à analyser. On ajoute successivement, et en quantité que l'on estime approximativement, de l'oxalate d'ammoniaque solide et quelques gouttes d'oxalate dissous, de manière à être sûr d'avoir un excès d'oxalate d'ammoniaque et d'ajouter le moins possible d'oxalate dissous, afin de ne pas augmenter la quantité de liqueur. On laisse reposer pendant huit ou dix heures à froid, puis on décante sur un filtre ; on met ensuite tout l'oxalate de chaux sur le filtre en le lavant peu à peu par décantation avec de l'eau tiède.

Le précipité est ensuite séché, calciné un nombre de fois suffisant, puis pesé; on a ainsi le poids de la chaux. De ce poids augmenté de celui qu'on a déjà trouvé, on retranche le poids de la chaux introduite pour l'attaque; on a ainsi le poids de la chaux existant dans la substance analysée.

La liqueur qui reste est évaporée dans une capsule de platine, on obtient une matière sirupeuse très concentrée contenant beaucoup de nitrate d'ammoniaque, un peu d'oxalate d'ammoniaque et des nitrates de magnésie, de manganèse, de potasse et de soude. On couvre avec un entonnoir de verre, de manière à transformer la capsule en un vase clos, et l'on chauffe le mélange salin. Le nitrate d'ammoniaque se transforme en protoxyde d'azote, l'oxalate se décompose et se volatilise : il reste dans la capsule et un peu sur les parois de l'entonnoir, qu'il

faut chauffer vers 300 degrés à la lampe à alcool : 1° des nitrates et sous-nitrates de magnésie et de manganèse; 2° du nitrate de potasse; 3° du nitrate de soude

On ajoute un peu d'eau et une trace d'acide tartrique pur, on évapore à sec et il se dégage des vapeurs d'acide nitrique. L'intérieur de la capsule se remplit de beaux cristaux d'acide oxalique volatilisé, on chauffe au rouge naissant en couvrant la capsule pour que les vapeurs d'oxyde de carbone ne soient pas brûlées dans l'intérieur. Dans cette opération, l'acide oxalique a chassé l'acide nitrique et transformé les nitrates en oxalates; ceux-ci au rouge se sont transformés en carbonates, et si par hasard une petite quantité de nitrate avait échappé à la réduction, les vapeurs d'oxyde de carbone et l'acide tartrique l'auraient éliminé, de sorte qu'il ne reste plus que des carbonates.

On reprend par l'eau : la magnésie et le manganèse restent dans la capsule, les carbonates alcalins se sont dissous. On décante sur un très petit filtre, parce qu'il ne faut pas laver beaucoup le carbonate de magnésie, il est notablement soluble, surtout dans l'eau froide, il faudra chaque fois porter à l'ébullition l'eau de lavage.

On calcine au rouge le mélange de carbonate de magnésie et de manganèse, qui se transforment en magnésie et en oxyde rouge. On pèse le mélange de magnésie et d'oxyde dans la capsule même où l'on fait l'évaporation; on traite alors par le nitrate d'ammoniaque en dissolution concentrée et bouillante et l'on chauffe jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de vapeurs ammoniacales.

On décante et on lave la matière insoluble, s'il en existe, et qui doit être colorée en brun; on porte la capsule au rouge et l'on pèse. La différence entre ces deux pesées donne la magnésie, et ce qui reste dans la capsule donne le poids du manganèse. On met de côté la liqueur ammoniacale contenant la magnésie, pour l'essayer, comme nous le dirons plus tard.

Les carbonates solubles de soude et de potasse sont traités par l'acide chlorhydrique dans un verre à expérience recouvert d'un entonnoir. Ce verre est mis dans un endroit chaud pendant une douzaine d'heures pour que tout dégagement d'acide carbonique cesse dans la liqueur : on lave l'entonnoir, on évapore la liqueur contenue dans le verre et les eaux de lavage dans un creuset de platine; l'eau et l'excès d'acide chlorhydrique se dégagent; on obtient un mélange de chlorures de potassium et de sodium qui cristallise toujours en cubes, lorsque le chlorure de sodium prédomine. Quelquefois ces chlorures ont une légère teinte rougeâtre, cela tient à ce qu'on a laissé un peu de nitrate dans les carbonates; il suffit, pour éviter toute erreur, de chauffer les chlorures à une température suffisante pour décomposer le chlorure de platine formé : les chlorures deviennent noirs par la présence du platine; mais, ce métal appartenant aux vases, le poids des chlorures n'est pas altéré.

Les chlorures alcalins étant pesés, on met de l'eau en petite quantité et l'on ajoute du chlorure de platine, s'il y a de la potasse. On évapore le mélange de chlorure de platine et de sels alcalins jusqu'à consistance sirupeuse, et l'on reprend par de l'alcool pur. Le résidu est du chlorure double de platine et de potassium et du chlorure de sodium. On enlève par l'eau les chlorures de potassium et de sodium, on calcine de nouveau et on pèse. La matière qui demeure dans le creuset est le platine provenant du chlorure double. Du poids obtenu on

déduit celui du chlorure de potassium, qu'il renferme; en retranchant du poids des chlorures alcalins le poids du chlorure de potassium on a le poids du chlorure de sodium.

Ayant ces poids, il est facile d'en déduire ceux de la potasse et de la soude.

Il reste à faire les vérifications suivantes :

1° La chaux, qui a été chauffée jusqu'à cessation de perte de ce poids, doit être soluble dans le nitrate d'ammoniaque sans autre résidu que les cendres du filtre.

2° En versant de l'ammoniaque et du phosphate de soude dans la solution ammoniacale de magnésie, on doit avoir un précipité abondant de phosphate ammoniaco-magnésien.

3° Le manganèse se vérifie comme nous l'avons dit plus haut.

4° Les chlorures de sodium et de potassium évaporés, calcinés doucement et traités par un mélange d'alcool et d'éther, ne doivent céder à ce mélange aucune substance capable de colorer la flamme en rouge, ce qui indiquerait la présence de la lithine.

Les matières attaquables par les acides se traitent directement comme les matières que l'on a rendues attaquables par la chaux : mais il est une précaution qu'il faut toujours prendre, c'est de faire en sorte que la silice se sépare toujours en masse gélatineuse. Dans le cas où il n'en est pas ainsi, il faut la calciner avec de la chaux pour la rendre attaquable. Ainsi, une condition essentielle pour que l'attaque soit complète, c'est que la substance soit susceptible d'être dissoute dans les acides avec production de silice gélatineuse.

Nota. — Le verre résultant de l'attaque du minéral par la chaux doit avoir pour poids la somme des poids de la matière employée et de la chaux ajoutée. La différence doit être de 1 milligramme ou 2 milligrammes au plus ; elle est le plus souvent nulle.

Recherche des matières volatiles dans les silicates. — Il faut chauffer la matière à une température très élevée pour chasser les matières volatiles. L'eau se dégage à la température de la petite ou de la moyenne lampe; mais quand il est nécessaire d'employer la grande lampe, on est averti de la présence des fluorures.

La meilleure manière de mettre en évidence la présence de l'eau dans un minéral est de placer la matière dans un tube de platine et de faire passer au rouge un courant de gaz sec ; un tube contenant du chlorure de calcium est disposé pour recevoir l'eau. Ce procédé n'est pas toujours employé parce qu'on peut quelquefois doser autre chose avec l'eau ; cependant cette opération n'est pas inutile. Dans le cas où il n'y a que de l'eau, comme dans les zéolithes, la calcination et la perte de poids donnent la quantité d'eau.

Lorsqu'il y a dégagement de matières volatiles à une haute température, ce sont, avons-nous dit, des fluorures. Il y a un grand nombre de fluorures, mais on ne s'occupera que de ceux qui peuvent être chassés par la calcination : le fluorure de silicium, le fluorure de bore et les fluorures alcalins.

Tous les fluosilicates sont décomposables par la chaleur, et tous les fluorures mis avec une quantité suffisante de silice se transforment en fluorure de silicium ;

par conséquent, une fois que nous saurons doser le fluorure de silicium, il nous sera aisé de doser les autres fluorures.

Quand on a une matière qui contient du fluorure de silicium en quantité notable, la topaze par exemple, et qu'on veut recueillir et doser ce fluorure, on suit la méthode suivante :

On prend trois creusets de platine : un grand, un moyen et un petit. Dans le petit, qui a été taré, on met la matière à calciner et on la pèse ; par-dessus le petit creuset, muni de son couvercle, on renverse le creuset moyen de manière à former un chapeau, et enfin on met les deux creusets ainsi disposés dans le grand creuset ; on pèse le tout ensemble, de sorte que l'on peut connaître le poids de l'appareil moins celui de la topaze. On verse alors entre les parois des deux derniers creusets une certaine quantité de carbonate de chaux desséché, et l'on pèse. On a ainsi le poids de l'appareil, de la topaze et du carbonate de chaux.

Le système est chauffé au rouge cerise, de manière que le carbonate de chaux se réduit en chaux, et l'on chauffe pendant longtemps à la grande lampe, de manière que le fluorure de silicium puisse se dégager complètement. Lorsqu'on est sûr que la perte de la topaze doit être terminée, on retire son creuset du feu et on le pèse ; il ne doit avoir perdu que l'acide carbonique de la chaux et de l'eau. Or, comme on connaît la quantité de carbonate de chaux, et par suite celle de l'acide carbonique, il s'ensuit que la perte du poids, celle de l'acide carbonique étant déduite, ne peut dépendre que de la quantité d'eau qui aurait traversé la chaux sans s'y fixer.

Cela fait, nous inclinons légèrement le creuset, nous enlevons avec le plus grand soin la chaux, la plupart du temps rendue compacte et adhérente au creuset par la présence du fluorure de calcium et du silicate de chaux ; pour dégager le creuset moyen, on retire celui-ci et enfin le creuset intérieur ; on le pèse : la perte du poids donne le fluorure de silicium qui s'est dégagé.

Il faut vérifier que c'est bien du fluorure de silicium. La composition du fluorure de silicium est $SiFl^3$; si on le fait passer au travers de la chaux, il se forme : $SiO^3 . CaO + 3CaFl$; c'est donc un mélange de fluorure de calcium et de silicate de chaux ; nous avons de plus un excès de chaux. Il faut prendre toute la matière qui était autour du creuset moyen dans le grand creuset, et la faire bouillir avec du nitrate d'ammoniaque ; la chaux libre chasse l'ammoniaque, tandis que le fluorure de calcium et le silicate de chaux ne sont pas décomposés ; nous pouvons donc nous débarrasser ainsi de la chaux vive, il nous reste du fluorure de calcium et du silicate de chaux dans les proportions indiquées plus haut, soit $SiO^3 . CaO + 3CaFl$.

Cette matière, traitée par l'acide sulfurique, doit être complètement transformée en sulfate de chaux et en fluorure de silicium. Par conséquent, après avoir traité par le nitrate d'ammoniaque et lavé, nous versons de l'acide sulfurique et nous épuiserons son action jusqu'à ce que tout dégagement de vapeur cesse ; le sulfate de chaux résultant de cette opération sera traité par l'eau bouillante et acide jusqu'à dissolution entière ; on fera ce lavage sur un filtre de manière à mettre en contact avec l'eau chaude le sulfate en suspension. On

calcinera la matière restée sur le filtre et l'on ne devra avoir après la calcination qu'un résidu de silice excessivement faible.

On peut avoir du fluorure de silicium et du fluor en excès, de telle manière qu'à la rigueur il soit possible de supposer un dégagement de fluor libre et de fluorure de silicium. Mais ceci n'est pas probable, parce qu'en général la silice domine assez pour que l'excès de fluor ne puisse se dégager sans se combiner avec la silice; la topaze, le minéral le plus fluoré et qui contient peu de silice, ne laisse jamais dégager que du fluorure de silicium. Admettons cependant qu'il y ait un excès de fluor; nous supposerons en même temps qu'il n'y a pas d'eau.

On ajoute une assez grande quantité de silice pour qu'il ne se dégage que du fluorure de silicium, et l'on fait deux opérations; dans la première, on détermine la perte de la matière seule; dans la seconde, on détermine la perte de la matière à laquelle on a ajouté de la silice; la différence donne la quantité de silicium nécessaire pour neutraliser le fluor; on en déduirait la quantité de fluor libre qui existe dans la matière.

DOSAGE DES MÉTAUX ALCALINS DANS LES SILICATES ET DANS LES MATIÈRES INATTAQUABLES PAR LES ACIDES, AU MOYEN DE L'HYDRATE DE BARYTE

Dans l'opération industrielle de l'extraction de la potasse des roches feldspathiques au moyen de la chaux, on sait que l'infusibilité du mélange est cause de la décomposition incomplète des silicates, et qu'une partie des alcalis reste dans les résidus; on sait également que si l'on additionne le mélange d'un fondant, comme le spath-fluor, par exemple, on obtient une plus grande proportion de potasse, mais qu'on n'arrive jamais à extraire la totalité de cette base.

M. Terreil a pensé à remplacer, dans cette opération, la chaux par l'hydrate de baryte qui est indécomposable par la chaleur et qui est très fusible. L'expérience a justifié les prévisions; l'hydrate de baryte fondu possède la propriété de déplacer complètement la potasse, la soude et la lithine de leurs combinaisons avec la silice et avec les acides qui forment des composés insolubles avec la baryte.

Le prix trop élevé de l'hydrate de baryte, empêchant de l'appliquer à l'extraction industrielle de la potasse des roches feldspathiques, M. Terreil a songé à l'employer pour doser les alcalis dans les silicates et dans les substances inattaquables par les acides. C'est cette nouvelle méthode de dosage des alcalis au moyen de l'hydrate de baryte qui est présentée ici.

On commence par préparer de l'hydrate de baryte fondu et pur, en faisant cristalliser plusieurs fois des cristaux d'hydrate de baryte, qu'on lave enfin à l'eau distillée froide, pour enlever les dernières traces d'alcalis que les eaux mères pourraient retenir; cet hydrate cristallisé est ensuite desséché et fondu rapidement dans une capsule de platine ou d'argent, puis on le réduit en poudre fine pour servir aux dosages des alcalis.

Voici maintenant les opérations que l'on exécute pour doser la potasse, la soude et la lithine dans les silicates:

1° On traite la matière réduite en poudre très fine par la porphyrisation, par 7 ou 8 fois son poids d'hydrate de baryte fondu, soit dans un creuset de platine, soit dans un creuset d'argent.

La température nécessaire à la réaction ne dépasse pas 350 degrés, l'hydrate de baryte entre rapidement en fusion, et attaque la substance en produisant une effervescence due au dégagement de l'eau de l'hydrate ; bientôt la masse fondue s'épaissit, et lorsqu'elle paraît entièrement solidifiée, on élève la température pendant quelques minutes, mais sans atteindre le rouge sombre.

Dans cette opération les creusets de platine ne sont pas sensiblement attaqués, si l'on a le soin d'éviter l'accès de l'air dans le creuset, mais il est préférable d'employer les creusets d'argent.

2° On traite ensuite la masse fondue et refroidie par de l'eau distillée qu'on porte à l'ébullition dans le creuset même et qu'on décante : on commence l'action de l'eau bouillante jusqu'à ce que la masse fondue soit enlevée du creuset.

En opérant de cette manière, la masse barytique se désagrège rapidement et les alcalis se dissolvent entièrement dans l'eau avec un excès d'hydrate de baryte. On filtre pour séparer la partie insoluble, et on lave cette dernière à plusieurs reprises, mais on évite de dissoudre tout l'hydrate de baryte non décomposé, car la totalité des alcalis se trouve dans la première liqueur.

3° On soumet la liqueur filtrée à un courant de gaz acide carbonique lavé avec soin, qui convertit toutes les bases en carbonates, on porte la liqueur à l'ébullition pour décomposer les petites quantités de bicarbonate de baryte, et quelquefois de bicarbonate de chaux, qu'elle peut contenir, et on filtre pour séparer les carbonates insolubles ; ces derniers sont lavés sur le filtre, afin de leur enlever toute la liqueur alcaline qui les mouille.

4° La liqueur filtrée ne contient plus que les carbonates alcalins ; on la sature par l'acide chlorhydrique, on l'évapore à sec pour rendre insoluble une petite quantité de silice, et on calcine légèrement le résidu pour carboniser des traces de matières organiques enlevées probablement aux filtres par les liqueurs alcalines, car on en trouve dans tous ces dosages.

On redissout tous les chlorures dans très peu d'eau, et après filtration on évapore de nouveau à sec dans une capsule de platine tarée, et on pèse afin de connaître le poids des chlorures obtenus. Enfin, on traite ces chlorures par le sel de platine pour séparer la potasse à l'état de chloroplatinate, dont le poids fait connaître la proportion de cet alcali ; la quantité de soude se déduit par le calcul.

On détermine encore par le calcul les quantités respectives des deux alcalis, en dosant au moyen d'une liqueur titrée d'azotate d'argent, le chlore des chlorures obtenus.

Lorsqu'il s'agit de doser la lithine, on sépare cette base de la potasse et de la soude en traitant les chlorures alcalins obtenus, par de l'éther, qui dissout le chlorure de lithium, sans toucher sensiblement aux autres chlorures.

Voici quelques dosages d'alcalis dans divers silicates et corps insolubles dans

les acides, qui ont été faits, d'une part, avec de l'hydrate de baryte fondu et, de l'autre, avec le fluorhydrate d'ammoniaque.

SUBSTANCES ANALYSÉES	PAR L'HYDRATE DE BARYTE			PAR LE FLUORHYDRATE		
	POTASSE.	SOUDE.	LITHINE.	POTASSE.	SOUDE.	LITHINE.
Feldspath orthose bien cristallisé	12,97	4,09	»	12,52	3,99	»
Verre à bouteilles cristallisé.	0,02	8,18	»	0,63	8,47	»
Obsidienne d'Islande	2,01	5,90	»	2,56	4,86	»
Obsidienne de Lipari	5,18	1,54	»	5,55	1,69	»
Trachyte du Puy-de-Dôme..	5,01	3,06	»	4,98	3,02	»
Trachite de Serconi	3,96	2,57	»	3,64	2,37	»
Schiste du Trias (des bains de mer de Saint-Gervais)...	2,52	2,91	»	2,52	2,65	»
Lépidolithe rose de Bohême.	8,16	1,42	4,32	8,20	1,36	4,24
Alunite d'Italie	8,52	0,96	»	»	»	»

Dans une analyse spéciale, l'alunite d'Italie avait donné 90 pour 100 de potasse, la soude avait échappé à l'analyse.

ANALYSE INDUSTRIELLE

Voici une manière d'opérer pour les *analyses industrielles* qui doivent être faites rapidement :

On mélange la poussière de verre avec 1 fois 1/2 à 2 fois son poids de minium. Le tout est chauffé, dans un petit creuset de platine, sur la lampe à gaz ou à alcool à double courant d'air.

La fusion se fait rapidement ; on plonge le creuset encore chaud dans une capsule pleine d'eau froide et on en détache un culot de verre tribasique, facilement attaquable par l'acide nitrique.

Après avoir évaporé à siccité, au bain-marie, et laissé séjourner la capsule sur le bain longtemps encore après complète dessiccation, on reprend par l'eau et quelques gouttes d'acide et on filtre. On lave longtemps à l'eau bouillante la silice restée sur le filtre, et dans la liqueur filtrée on dose à la manière ordinaire l'alumine, le fer, la chaux et les alcalis, après s'être débarrassé préalablement du plomb par un courant d'hydrogène sulfuré.

Comme on pourrait craindre qu'une petite quantité de minium fût réduite par le contact des gaz de la flamme, on fera bien de découper au centre d'une feuille de clinquant un cercle d'un diamètre un peu inférieur à celui de la capsule, dans lequel on la fera entrer à frottement doux. Grâce à cette précaution, les gaz réducteurs de la flamme ne sauraient pénétrer dans la capsule qui, ainsi, n'est jamais attaquée.

A cette méthode d'analyse des silicates on a, depuis une dizaine d'années, substitué la suivante qui est plus rapide.

On attaque au rouge vif dans un creuset de platine un gramme de verre

finement porphyrisé, par deux fois son poids d'un mélange de carbonate de potasse et de carbonate de soude. Quand la masse est bien fondue, on laisse refroidir le creuset et on reprend le tout par de l'eau distillée bouillante qui dissout le silicate basique formé.

La liqueur est acidifiée ensuite par de l'acide chlorhydrique, puis évaporée ensuite jusqu'à siccité pour rendre la silice insoluble.

On reprend le résidu de la dessiccation par de l'eau acidulée au moyen de l'acide chlorhydrique; on chauffe pendant une demi-heure à une température voisine de l'ébullition, afin de ramener l'oxyde de fer à l'état de chlorure soluble.

Par filtration on sépare la silice, qu'on calcine et pèse. Dans la liqueur de filtration on précipite simultanément l'alumine et l'oxyde de fer au moyen de l'ammoniaque, puis la chaux par l'oxalate d'ammoniaque, et enfin après filtration de l'oxalate de chaux on précipite la magnésie, en phosphate ammoniaco-magnésien, par addition de phosphate de soude.

Le dosage du fer dans le précipité qui contient le mélange de ces deux oxydes s'effectue de la façon suivante :

Le mélange est introduit dans un petit ballon et traité par de l'acide chlorhydrique additionné de quelques gouttes d'acide sulfurique. Quand la dissolution est achevée, on introduit dans la liqueur quelques morceaux de zinc pur, afin de ramener le sel de fer au minimum et en permettre le dosage par une liqueur titrée de permanganate de potasse.

DOSAGE DES ALCALIS PAR LE FLUORHYDRATE D'AMMONIAQUE.

1 gramme de verre finement broyé est mélangé intimement à 8 grammes de fluorhydrate d'ammoniaque, et le tout est desséché lentement jusqu'à départ complet des vapeurs de fluorhydrate. On renouvelle ce traitement une deuxième fois pour être assuré d'une attaque complète. On calcine alors doucement au rouge sombre, et après refroidissement on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, qui décompose les fluorures et transforme toutes les bases en bisulfates. On dessèche avec précaution, puis on calcine au rouge sombre pour décomposer les bisulfates.

On reprend ensuite par l'eau et on ajoute, sans filtrer, 2 grammes d'hydrate de baryte en poudre. On porte à l'ébullition pendant une demi-heure, puis on filtre pour séparer le sulfate de baryte, ainsi que l'alumine et l'oxyde de fer, qui ont été précipités grâce à l'excès de baryte.

La liqueur filtrée contient, outre les alcalis à doser, l'excès de baryte, la chaux et la magnésie. On y fait passer un courant d'acide carbonique, qui donne des carbonates de toutes ces bases; on fait bouillir pendant dix minutes pour chasser l'excès d'acide carbonique, puis on filtre. La liqueur filtrée, additionnée d'acide chlorhydrique, est évaporée à sec, puis reprise par l'eau.

On ajoute une pincée de carbonate d'ammoniaque, qui complète la précipitation des traces de baryte, de chaux et de magnésie; on chauffe légèrement et on filtre.

La liqueur filtrée, qui ne contient plus que les chlorures alcalins, est évaporée à sec, puis on calcine au rouge sombre pour chasser le chlorhydrate d'ammoniaque.

Dans le mélange des chlorures alcalins pesés, on sépare la potasse par le bichlorure de platine et on dose généralement la soude par différence.

DOSAGE DU SULFATE DE SOUDE LIBRE CONTENU DANS LE VERRE.

Dans tous les verres fabriqués au sulfate on retrouve à l'état d'impureté une quantité plus ou moins considérable de sulfate de soude qui n'a pas été décomposé pendant la fusion.

Son dosage pourrait être exécuté sur la prise d'essai qui a servi au dosage de la silice, de l'alumine, etc.; mais, généralement, il est préférable, afin d'avoir des résultats plus précis, d'opérer sur 5 grammes de verre, qu'on attaque par le carbonate de soude. Après avoir séparé la silice, on dose l'acide sulfurique en le précipitant par le chlorure de baryum.

Analyse des verres plombeux. — L'analyse des verres dans lesquels la chaux est remplacée partiellement ou en totalité par de l'oxyde de plomb s'effectue à peu près comme nous venons de l'indiquer.

Cependant, en raison de l'action énergique que le plomb exerce sur le platine, on se voit dans l'obligation de remplacer le creuset de platine par un creuset de porcelaine.

Le produit de l'attaque au carbonate de soude est dissous dans l'acide azotique, puis évaporé à sec. Dans la liqueur filtrée, après séparation de la silice, on dose le plomb à l'état de sulfate.

Dans les conditions de l'attaque, le dosage de la silice et de la chaux ne peut être exact; les résultats peuvent être trop élevés de 1 pour 100 environ.

S'il s'agit de faire ce dosage très exactement, on opère la désagrégation dans de petits creusets en fer doux qui résistent parfaitement à l'action des alcalis carbonatés fondus.

Étant donnés les résultats de l'analyse d'un verre, il est très facile d'en retrouver la composition, c'est-à-dire le mélange des matières premières qui ont été employées pour sa fabrication.

Au poids d'alcali donné par l'analyse on ajoute 1 à 2 pour 100, afin de tenir compte de la perte qui se produit par volatilisation pendant la fusion du verre, et on calcule en carbonate ou en sulfate.

On ne tiendra pas compte de l'alumine ni de l'oxyde de fer, car le plus généralement ces substances proviennent des matières premières, sable, calcaire, sel de soude, et aussi de l'argile des creusets.

LIVRE QUATRIÈME

CHAPITRE PREMIER

POTERIE ET PRODUITS RÉFRACTAIRES

Considérations générales. — En verrerie, il faut attacher une extrême importance à la fabrication des creusets, à la fabrication des briques et des dalles, des pièces servant à la *construction des fours de fusion*, et même des fours de recuisson. Sans bons creusets, pas de hautes températures possibles dans le four de fusion, pas de beau verre. L'importance de ce sujet nous fait consacrer un chapitre spécial aux produits réfractaires. Nous avons exprimé ici le résultat d'une expérience de longues années, pendant lesquelles nous avons mis et vu mettre en pratique le résultat des recherches et les conseils des Brogniard, Berthier, et de nombreux verriers compétents.

Nous avons puisé d'utiles renseignements dans le remarquable rapport fait à la suite de nos dernières Expositions universelles, par M. Chandelon, l'éminent professeur de l'Université de Liège. Nous avons pu constater combien sont rationnels, et combien ont déjà rendu de services les conseils que M. Chandelon donnait à cette époque.

Objets de première nécessité pour les usines métallurgiques, les verreries, les porcelaineries, en un mot, pour tous les établissements dont les travaux s'exécutent à une température très élevée, les produits réfractaires occupent une place des plus importantes dans l'industrie. Ils se fabriquent sur une grande échelle et sous les formes les plus variées, soit pour être employés, comme matériaux, à la construction des fours qui doivent résister à l'action d'un feu vif et de longue durée, soit pour servir, comme ustensiles, à contenir les substances qu'on veut mettre en fusion.

La consommation de ces produits est si considérable que c'est, en grande partie, de leur qualité et de leur résistance que dépend la prospérité d'un établissement. Aussi beaucoup d'industriels fabriquent eux-mêmes les objets réfractaires dont ils ont besoin, ne voulant s'en rapporter qu'à leur propre vigilance des soins qu'en réclame la confection. On ne peut nier qu'un tel système, fondé sur des appréhensions légitimes sans doute, ne soit de nature à enrayer les progrès de cette fabrication, car elle avancerait rapidement, si elle devenait l'objet de grands établissements distincts, dirigés par des hommes spéciaux, qui soumettraient à une étude approfondie les matières réfractaires à employer et leurs produits et qui rechercheraient les meilleures compositions

de pâtes, les procédés les plus économiques, et éclaireraient, en un mot, des lumières de la science, l'exploitation si importante de cette branche de la céramique.

On exige des produits réfractaires, des qualités spéciales suivant les différents usages auxquels on les destine. Les uns, tels que les briques, les carreaux, les dalles, etc., servant à la construction des fourneaux ou fours, ou du moins à leur revêtement intérieur, doivent supporter, sans se ramollir, l'action d'un feu violent et longtemps soutenu. Il en est de même des ustensiles qu'on chauffe progressivement jusqu'à la température à laquelle il faut les maintenir. D'autres, comme les creusets à fondre l'acier, doivent avoir en outre la propriété de résister à de brusques changements de température et de pouvoir également sortir des fours chauffés au rouge blanc et y rentrer sans se briser ni même se fêler. Enfin il en est, tels que les creusets de verrerie, qui, autant que possible, doivent être inattaquables par les matières vitrifiables en fusion.

L'infusibilité des produits réfractaires est due essentiellement à la nature des matériaux dont ils sont formés, tandis que leur résistance aux changements de température et à l'action corrosive des fondants dépend surtout de la texture de leur pâte et de la manière dont ils sont façonnés. Il est reconnu en effet et admis dans la pratique qu'ils résistent d'autant mieux aux brusques variations de la chaleur qu'ils sont plus poreux, et qu'ils sont d'autant moins corrodés que leur pâte est plus dense et plus compacte.

Si le potier peut produire à volonté toutes sortes de textures, depuis le grain le plus serré jusqu'à la pâte la plus lâche, et donner ainsi à ses produits la propriété de passer brusquement d'une température à une autre, ou de résister aux fondants, ce n'est souvent qu'à la suite de nombreux tâtonnements qu'il parvient à obtenir des pâtes infusibles. La difficulté provient surtout de la grande variété de compositions que présentent les argiles et qui est le résultat de leur origine et de leur mode de formation. On sait, en effet, que les argiles proviennent de l'altération des feldspaths, ou plutôt des roches primitives qui ont ces minéraux pour base ou pour partie dominante, et dont les détritus, entraînés par les eaux dans les cavités du sol, ont produit ces dépôts plus ou moins puissants qu'on rencontre dans presque tous les terrains stratifiés.

La variété des roches susceptibles d'éprouver l'altération qui les amène à l'état d'argile, la désagrégation plus ou moins complète dans laquelle elles se trouvaient au moment du transport, les nombreuses substances accidentelles que les eaux ont charriées en même temps et qui s'y sont mélangées, enfin la manière dont s'est fait le dépôt des matériaux tenus en suspension, expliquent, non seulement l'extrême variété de compositions et de qualités qu'on observe dans les argiles de diverses provenances, mais encore les différences que présentent les parties d'un même gisement, différences parfois tellement prononcées qu'elles en modifient les applications et l'emploi.

Cette variation incessante dans la qualité des terres exige des changements continuels dans la composition des pâtes céramiques et constitue la principale difficulté que le potier ait à vaincre pour maintenir l'identité de ses produits.

Les argiles pures ou qui ne contiennent que du sable quartzeux et quelques centièmes de fer, sont infusibles à la plus haute chaleur de nos fourneaux; il en est cependant qui subissent un commencement de ramollissement, décelé par l'aspect lustré qu'elles prennent dans leur cassure. Ce ramollissement a pour cause le rapport existant entre les quantités de silice et d'alumine contenues dans les silicates qui constituent ces argiles, ou plutôt dans les composés nouveaux qui se forment sous l'influence du feu.

On voit en effet par les expériences synthétiques de Berthier que les silicates :

	$Al^2O^3.2Si.O^3$	$Al^2O^3,2Si.O^3$
Silice	100	100
Alumine	56,66	37,77

« paraissent être les plus ramollissables de tous, et qu'on diminue leur fusibilité en y ajoutant soit de la silice, soit de l'alumine ». M. Bischof, dans un travail récent, range également, sous le rapport de leur fusibilité relative, les silicates d'alumine dans l'ordre suivant :

$$Al^2O^3,3Si,O^3$$
$$Al^2O^3,2Si\ O^3$$
$$Al^2O^3,\ Si,O^3$$

Dans deux notes adressées à l'Académie des Sciences, sous le titre de : « Action de la chaleur sur les argiles » et de « Constitution des argiles », M. Le Chatelier a donné connaissance d'essais très intéressants faits par lui dans le but de rechercher la constitution des argiles.

En voici les principaux passages :

« Les silicates d'alumine hydratés (argiles, kaolins, etc.), dit M. Le Chatelier, malgré l'importance qu'ils tirent de leur abondance dans la nature, ainsi que de leurs nombreux usages industriels, sont encore peu connus au point de vue de leur constitution chimique.

» Ils forment généralement des mélanges trop complexes pour que l'analyse chimique puisse fournir à elle seule aucune donnée précise sur leur nature.

» J'ai pensé qu'en étudiant la température de déshydratation de ces corps on pourrait peut-être arriver à caractériser un petit nombre d'espèces chimiques et distinguer la présence de chacune d'elles dans ces divers mélanges.

» Si l'on échauffe rapidement une petite quantité d'argile, il se produit, au moment de la déshydratation, un ralentissement dans l'élévation de température; ce point d'arrêt peut être utilisé pour établir une distinction entre les divers silicates d'alumine hydratés.

» L'expérience montre en effet que la position de ce point d'arrêt dans l'échelle des températures est sensiblement indépendante des conditions de l'expérience, notamment de la vitesse d'échauffement.

» C'est un résultat semblable à celui qu'on observe dans la cuisson du calcaire. Ce fait tient à ce que la vitesse des réactions chimiques, aussitôt qu'elle a une valeur notable, prend des accroissements énormes pour de très faibles élévations de température ».

Pour mesurer les températures, M. Le Chatelier a employé un couple thermo-électrique composé de platine pur et d'un alliage de platine avec 10 pour 100 de rhodium.

On sait que lorsqu'on chauffe la soudure de ces métaux entre eux, il s'y développe un courant électrique d'autant plus intense que la température est plus élevée.

Le courant électrique est mesuré par un galvanomètre dont les indications sont à leur tour photographiées toutes les deux secondes.

L'échauffement de l'argile avait lieu dans un cône de platine contenu lui-même dans un creuset plus grand rempli de magnésie calcinée et chauffée dans un four Forquignon.

Dans les conditions de l'expérience, la température mettait dix minutes pour monter de 1.000 degrés, ce qui correspond à une vitesse moyenne d'échauffement de 4 degrés pour deux secondes.

Comme terme de comparaison, M. Le Chatelier a pris les quatre températures qui lui étaient données pour les points de fusion ou d'ébullition des corps suivants :

Eau.	110	degrés.
Soufre	448	—
Sélénium.	665	—
Or.	1.045	—

Le premier résultat de ces expériences a été de montrer que, pendant l'échauffement des argiles, on n'observe pas seulement des ralentissements correspondant à la déshydratation, mais parfois aussi de brusques accélérations indiquant la production de phénomènes accompagnés d'un dégagement de chaleur. La comparaison d'observations ayant porté sur un très grand nombre d'argiles a fait voir de plus que la complexité de ces corps est beaucoup moindre qu'on aurait pu le craindre. On peut les rapporter à cinq types bien tranchés ne présentant jamais, au moins dans les échantillons que j'ai entre les mains, de passage graduel de l'un à l'autre.

N° 1. Halloyosite de Miglos (Ariège). On observe un premier ralentissement peu marqué de 150 à 200 degrés, un second ralentissement très important finissant à 700 degrés, et enfin une accélération brusque commençant à 1.000 degrés.

Des clichés identiques ont été obtenus avec des argiles sédimentaires ou argiles chimiques des provenances suivantes : argiles réfractaires de Forges (Seine-Inférieure) et de Bolène (Vaucluse); argile plastique de Gentilly (Seine); holloysites d'Angleur (Belgique), de Russie, de Miglos (Ariège), de Launède (Dordogne), de Huelgoat (Finistère), de Breteuil (Eure); bauxite blanche siliceuse de Brignoles (Var); leuzinite de la Vilate (Haute-Vienne), de l'Eissel

(Allemagne); savon blanc de Plombières (Vosges); sévérite de Saint-Sever (Landes).

N° 2. Allophane de Saint-Antoine (Oise). Le seul ralentissement net est situé entre 150 et 220 degrés; il se produit, comme précédemment, une accélération brusque à 1.000 degrés.

Les mêmes résultats ont été obtenus avec les allophanes de Saint-Antoine (Oise), de Nizé, de l'Utah (Amérique) et la collytile des Pyrénées.

N° 3. Kaolin cristallisé de Red-Mountain (Colorado). On observe un ralentissement très marqué qui se termine à 770 degrés et une légère accélération vers 1.000 degrés qui varie d'importance d'un échantillon à l'autre.

Cette dernière doit sans doute être attribuée à la présence d'une petite quantité d'argile colloïdale dont l'existence dans les kaolins a été signalée par M. Schlœsing.

Des résultats semblables ont été obtenus avec divers kaolins de France et de Chine.

N° 4. Pyrophyllite de Breesvow (monts Ourals). On observe un premier ralentissement assez net finissant à 700 degrés et un second douteux à 850 degrés.

Une pagodite de Chine s'est comportée de la même façon.

N° 5. Montmorillonite de Saint-Jean-de-Côle (Dordogne). Un premier temps d'arrêt très important finit vers 200 degrés, un second moins marqué à 770 degrés et un troisième douteux à 950 degrés. On ne voit aucun dégagement de chaleur commune avec les halloysites du premier groupe, dont quelques-unes, par leurs caractères physiques et la nature de leur gisement, semblent se rapprocher des montmorillonites.

Des clichés semblables ont été obtenus avec les montmorillonites de Saint-Jean-de-Côle (Dordogne), de Confolens (Charente), la confolensite de Confolens (Charente), la stéargilite de Poitiers (Vienne), la cymolite de l'île Cymolis (Grèce) et les argiles sinectiques de Reigate (Angleterre) et de Styrie. Avec ces deux dernières argiles pourtant le second temps d'arrêt n'est pour ainsi dire pas marqué; peut-être y aurait-il lieu d'en faire une catégorie à part.

Après avoir ainsi constaté l'existence de cinq catégories d'argiles, M. Le Chatelier recherche quels sont les corps chimiques auxquels on doit attribuer les variations signalées dans l'élévation régulière de la température.

Sous l'influence d'un échauffement progressif, dit-il, la silice hydratée donne un ralentissement entre 100 et 200 degrés; l'alumine hydratée se comporte d'une façon très variable, suivant sa provenance. Précipitée de l'aluminate de soude, elle montre un premier temps d'arrêt avant 200 degrés et un second finissant à 360 degrés. Précipitée des sels aluminiques ou obtenue par la calcination modérée de l'azotate, elle donne sensiblement les mêmes arrêts et, en outre, une accélération brusque à 850 degrés.

C'est à la suite de ce changement de chaleur que l'alumine devient insoluble dans les acides.

Enfin l'alumine hydratée de la bauxite donne un ralentissement se terminant à 700 degrés, c'est-à-dire à la même température que celui des halloysites.

Il résulte de là que la présence de la silice hydratée ne peut être mise en

évidence dans aucun des silicates d'alumine hydratés qui donnent à peu près tous un ralentissement entre 100 et 200 degrés; les deux premiers hydrates d'alumine ne peuvent, au contraire, se rencontrer dans aucun cas, celui de la bauxite ne peut exister que dans le groupe des halloysites.

On voit, en outre, que le dégagement de la chaleur observé dans la cuisson des argiles des premier et second groupes doit être attribué à la transformation moléculaire de l'alumine. C'est, en effet, après ce phénomène que l'alumine des argiles devient insoluble dans les acides. Cette alumine libre, qui n'existait pas primitivement dans l'argile, résulte de la décomposition de cette dernière au moment de la déshydratation.

Pour compléter cette étude, il reste à déterminer la composition chimique des silicates d'alumine qui communiquent à chaque groupe ses caractères distinctifs.

Deux d'entre eux sont déjà parfaitement connus.

Le quatrième groupe, celui de la « pyrophyllite », $4\,SiO^2, Al^2O^3, HO$.

Le troisième groupe, celui du « kaolin », SiO^2, Al^2O^3, HO.

Le deuxième groupe, celui des « allophanes », ne renferme qu'un petit nombre d'argiles dont la formule paraît être, d'après les analyses connues, SiO^2, Al^2O^3, Aq.

Le cinquième groupe, celui de la « montmorillonite », comprend un plus grand nombre d'argiles; mais elles sont généralement très impures, renfermant des alcalis, du fer, de la chaux, du manganèse, dont la présence se manifeste par la fusibilité de la matière.

Parmi celles-ci, la stéargilite de Poitiers a paru fournir le produit le plus pur.

Lavée à l'eau légèrement acidulée, elle abandonne, outre son calcaire, une argile rouge extrêmement ténue, qui reste en suspension, et elle laisse comme résidu une argile blanche très homogène. Son analyse a donné :

SiO^2	49
Al^2O^3	23,1
Fe^2O^3	2,4
CaO	0,5
HO à 250	7
	98,7

Les analyses antérieurement faites de la confolensite et de la montmorillonite se rapprochent de la précédente; celle de la limonite donne un peu plus de silice.

Leur composition peut être représentée par la formule $4\,SiO^2, Al^2O^3, HO, Aq$.

Le premier groupe, celui des « halloysites », est de beaucoup le plus important; il comprend la totalité des argiles sédimentaires et la majeure partie des argiles chimiques.

Les premières sont formées, d'après les travaux de M. Schlœsing, par un mélange de quartz, de silicate d'alumine cristallisé et d'argile colloïdale. Elles sont trop complexes pour que l'on puisse déduire aucune conséquence de leur analyse chimique brute.

Les argiles chimiques se rencontrent, au contraire, souvent à un très grand état de pureté, reconnaissables à leur blancheur, à leur infusibilité, à leur homogénéité et à la finesse de leur grain. Elles présentent alors une composition très régulière, représentée par la formule $2SiO^2, Al^2O^3, 2HO, Ag$, comme le montrent les analyses suivantes faites sur des échantillons triés avec soin, qui avaient servi pour les essais de calcination.

La matière avait été préalablement chauffée à 250 degrés pour chasser l'eau hygrométrique.

Les provenances étaient les suivantes :

1, Angleur; 2, Helgoat; 3, Miglos; 4, Breteuil; 5, Laumède; 6, Eisel; 7, Russie.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Calculé.
SiO^2. . .	46,3	47,9	46,3	48,3	48,7	46,6	47,4	46,4
Al^2O^3. .	39,5	38	38,7	35,6	36,5	39,3	38,8	39,7
HO . . .	14,3	14,3	14	14,3	13,6	13	14	13,9
	100,1	100,2	99,0	98,2	98,8	98,9	100,2	190,0

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Eau hygrométrique . . .	8,5	5,4	6,5	11,5	4	3,5	7

L'eau se divise très nettement en deux parties : l'une part à 150 degrés après 24 heures de chauffe, ou à 250 degrés en un quart d'heure; l'autre ne commence à se dégager qu'au-dessus de 400 degrés. La proportion de celle-ci est toujours exactement de 2 éq. pour 1 éq. d'alumine.

Le rapport de la silice et de l'alumine qui, dans la grande majorité des cas, est celui qui est donné dans les analyses ci-dessus, s'écarte dans quelques cas de sa valeur normale du mélange de silice ou d'alumine libre. Je citerai d'abord les bauxites siliceuses; la bauxite blanche de Brignolles, sur laquelle ont porté les expériences, renferme un peu moins de 1 éq. de silice pour 1 éq. d'alumine.

La présence d'alumine libre dans ce produit ne saurait faire aucun doute.

Par contre, les analyses du savon de Plombières donnent une quantité de silice variant entre 3 éq. et 4 éq.; mais dans ce cas encore M. Le Chatelier a reconnu que la proportion de l'eau de combinaison rapportée à l'alumine gardait sa valeur normale.

Cela rend bien vraisemblable la présence de silice libre; ce produit, d'ailleurs, malgré son apparence, est assez impur et très irrégulier; il renferme du sulfate de chaux, de la magnésie, etc.

Mais ces écarts de composition sont rares, et l'on peut admettre pour la formule du silicate de ce groupe $2SiO^2, Al^2O^3, 2HO, Aq$.

C'est la même formule que celle du kaolin, mais on ne saurait réunir ces deux composés, qui possèdent des propriétés tout à fait différentes.

L'action des acides après déshydratation, le dégagement de chaleur à 1.000 degrés, établissent une distinction parfaitement tranchée.

Théoriquement, on pourrait craindre que des argiles très siliceuses ne pussent résister à l'action corrodante des substances vitrifiables. A ce point de vue,

on est porté à donner la préférence aux terres riches en alumine. Mais, s'il est vrai que la silice libre est plus attaquable que l'alumine par les oxydes ou les sels en fusion, il n'en est probablement plus ainsi des silicates d'alumine, et nous citons, à l'appui, ce fait, que, à la cristallerie du Val-Saint-Lambert (Liège), un pot dont la pâte était composée d'un ciment contenant pour 100 de silice, 13,5 d'alumine, et d'un mélange de terres plastiques où il y avait 19 d'alumine pour 100 de silice, a servi pendant soixante-dix-sept jours, ce qui dépasse de beaucoup la durée moyenne.

Les argiles contiennent presque toujours du sable, qui s'y trouve tantôt en grains assez gros pour pouvoir en être extrait par un simple délayage dans l'eau, suivi de décantation; tantôt en grains tellement fins, qu'on ne peut l'en séparer que par des traitements alternatifs au moyen de l'acide sulfurique et de la potasse caustique, jusqu'à complète solution des principes constitutifs de l'argile.

Très souvent aussi on rencontre le gros sable et le fin réunis dans la même terre et parfois en quantités considérables. Beaucoup de chimistes n'ont pas distingué, dans les analyses, la silice combinée d'avec le sable quartzeux. Par cette confusion, ils ont attribué une même composition à des argiles différemment constituées et donné des compositions différentes à un même silicate d'alumine contenu dans divers échantillons d'un même gisement.

C'est ainsi qu'on a assigné aux argiles de Forges-les-Eaux et de Montereau les compositions presque identiques ci-après :

	Forges-les-Eaux.	Montereau.
Silice	0,650	0,644
Alumine	0,240	0,246
Oxyde de fer	traces	traces
Eau	0,110	0,100
	1,000	0,990

Cependant elles ne peuvent avoir la même constitution, puisqu'on reconnaît à la première, pour faire les pots de verrerie, des qualités qu'on n'admet pas dans la seconde. C'est ainsi encore que deux échantillons provenant d'une même fosse (Samson-Lionnet, province de Namur), mais pris à des profondeurs différentes, ont d'abord donné à l'analyse :

Eau, etc	11,87	8,62
Silice	58,10	73,15
Alumine	26,30	15,70
Oxyde de fer	2,80	2,15
Chaux	0,80	0,20
Perte	0,13	0,18
	100,00	100,00

et qu'après en avoir dosé le sable séparément, on est arrivé à la composition suivante :

Eau	11,87	8,62
Silice	10,10	24,75
Alumine	26,30	15,70
Oxyde de fer	2,80	2,15
Chaux	0,80	0,20
Sable (gros)	1,45	10,10
Sable (fin)	16,55	38,30
Perte	0,13	0,18
	100,00	100,00

Le calcul indique que, dans ces deux échantillons, il y a pour 100 de silice, 64 d'alumine : ce qui démontre que l'un et l'autre renferment le même silicate, mélangé à 18 pour 100 de sable dans le premier et à 48 dans le second.

Le sable exerce sur les qualités des argiles une très grande influence qu'on a souvent attribuée à d'autres causes. En grains très fins et sous l'action d'une haute température, il entre en combinaison avec les éléments de l'argile, pour former, selon les proportions, des composés réfractaires ou ramollissables.

L'argile la plus ramollissable qui contient :

Silice	100
Alumine	37,77

acquiert plus de résistance au feu par l'addition de 33,33 de sable fin, et devient très réfractaire, si la dose en est doublée. Au contraire, une argile réfractaire composée de :

Silice	100
Alumine	113,33

deviendra ramollissable si l'on y incorpore 100 de sable fin et le ramollissement arriverait à son maximum, si la quantité de sable ajouté était de 200.

Lorsqu'il est en gros grains, le sable n'exerce qu'une action relativement très lente et on le retrouve disséminé dans la pâte, sous forme de points blancs très visibles; il y joue donc le rôle de matière dégraissante ou de ciment.

En examinant attentivement les fragments d'un pot de verrerie qui avait subi l'action d'un feu violent et de longue durée, nous avons pu y distinguer des grains de sable dont le diamètre pouvait varier de $0^{mm},039$ à $0^{mm},070$. Le sable extrait par lévigation des argiles dont le pot avait été formé, présentait au microscope des grains d'un diamètre de $0^{mm},034$ à $0^{mm},085$.

D'après ces chiffres, que nous ne donnons que comme approximation, la distinction que nous avons faite entre le gros sable extrait par lévigation et le sable fin retiré par traitement chimique pourrait être admise au point de vue technique.

En résumé, l'analyse chimique représentant la composition réelle des argiles, distinguant, dans la roche, ce qu'elle contient à l'état de combinaison, de ce qui s'y trouve à l'état de mélange, et indiquant les proportions de sable gros et de sable fin, donne les indications les plus utiles au praticien. Elle lui fait connaître les qualités réfractaires de ses terres sans qu'il ait besoin de les soumettre à des essais pyrognostiques; elle le dirige dans le choix des matériaux

dont il dispose, et lui donne les moyens de calculer les proportions des différentes matières qu'il doit réunir pour former des pâtes résistant au feu. Enfin, elle fait entrevoir la possibilité de créer artificiellement et à prix réduits, soit par l'association d'argiles de compositions déterminées, soit par l'incorporation d'une certaine quantité de sable fin, des mélanges jouissant de la même propriété réfractaire que celle des terres les plus renommées.

Dans cet ordre d'idées, les recherches ont été multipliées, et on fabrique couramment des objets réfractaires de très bonne qualité dont la composition repose entièrement sur les données de l'analyse chimique.

C'est ainsi qu'on utilise avantageusement certaines argiles très siliceuses, entre autres la quartzite d'Eisemberg, en les mélangeant en quantité convenable avec les argiles plastiques grasses.

Peut-être l'analyse chimique en faisant connaître les proportions des matières dégraissantes contenues dans les terres, parviendra-t-elle un jour à résoudre un problème non moins important, celui de l'évaluation de la plasticité des terres. Si ce but pouvait être atteint, on supprimerait ou l'on diminuerait considérablement les épreuves empiriques auxquelles le praticien est forcé de se livrer pour apprécier la ténacité de ses pâtes, leur facilité de façonnage, leur retrait au feu, en un mot, toutes les propriétés physiques dont la connaissance lui est nécessaire pour conduire son travail à bonne fin

Peu de pays sont dans des conditions aussi favorables pour ce genre de fabrication que la Belgique. On trouve, en abondance, dans son sol, toutes les matières premières : argiles plastiques d'excellente qualité, sables purs, quartzite éminemment réfractaire; elle dispose enfin d'un combustible peu coûteux et de bonne qualité, et tous les centres de production de ces diverses matières, situés dans les localités très rapprochées, sont reliés entre eux par de nombreuses voies de communication.

Ces précieux avantages permettent d'obtenir des produits réfractaires de qualité supérieure à des prix modiques.

Aussi cette industrie a pris une importance considérable en Belgique, où l'on compte aujourd'hui une trentaine de fabriques spéciales, sans y comprendre les poteries annexées à chaque verrerie et aux nombreuses fonderies de zinc.

Il y a en Belgique deux groupes principaux d'exploitation de terres réfractaires. Le plus important, celui d'où l'on tire les terres de qualité supérieure, comprend les gîtes nombreux qu'on rencontre sur la rive droite de la Meuse, entre Andennes et Namur. Le second appartient au Hainaut et à l'Entre-Sambre-et-Meuse: on y trouve les gîtes de Baudour, Châtelet, Mont-sur-Marchienne, Morialmé-Walcourt, etc., dont les terres quoique moins sableuses, moins plastiques et moins pures, que celles du canton d'Andennes, fournissent, bien employées, des briques réfractaires pour les fours à coke, les foyers de générateur, les fours de laminoir, enfin pour les usages qui n'exigent pas des matériaux de premier choix.

Les Anglais trouvent dans leur terrain houiller des argiles schisteuses à pâte fine, alternant avec les couches de combustible, et qui sont éminemment réfractaires. Ces argiles n'ont pas la plasticité qui caractérise les argiles supérieures aux terrains néocomiens et crétacés, et ne pourraient que difficilement se prê-

ter au modelage des objets qui exigent une certaine délicatesse de contours ; ce n'est même que par une longue exposition à l'air qu'elles se désagrègent suffisamment pour être travaillées tout en se débarrassant, par sulfatisation, des parcelles de pyrite disséminées dans leur masse.

Ces argiles schisteuses présentent, comme les autres, de très grandes différences de composition, à en juger d'après les analyses de M. le docteur Richardson, qui se rapportent à sept variétés provenant du bassin houiller de Newcastle-sur-Tyne, et employées dans la fabrique de M. Cower où on les mélange en diverses proportions, selon les produits à obtenir. L'argile du bassin houiller de Dudley, surtout celle qui est exploitée à Stourbridge, s'exporte dans une grande partie de l'Angleterre. Elle n'éprouve presque point de retrait au feu, ce que démontrent des échantillons formés de deux fragments, dont l'un a été cuit et l'autre est resté cru, et qui se raccordent parfaitement dans leurs cassures les plus irrégulières.

Les argiles du terrain houiller, qui ne se contractent pas lorsqu'on les cuit, renferment sans doute un ciment naturel ; elles peuvent donc former à elles seules des pâtes céramiques et être mises directement en œuvre. On fabrique à Goran (Glascow) des briques de haut fourneau d'une simple pâte d'argile schisteuse, délitée à l'air et broyée avec de l'eau jusqu'à consistance convenable, dans un moulin à meules à plateau tournant. Cependant, pour les cornues à gaz et les pots de verrerie, on y ajoute toujours du ciment provenant, soit de la même argile, soit de tessons de vieux pots dont on a enlevé toute trace de matière vitrifiée.

On voit sur les bords du Rhin, des argiles plastiques d'assez bonne qualité, mais qui généralement contiennent des alcalis.

Les argiles pures, ou contenant seulement du quartz, des matières charbonneuses ou bitumineuses, sont réservées le plus ordinairement pour la préparation des produits réfractaires, briques, moufles, creusets de laboratoire, creusets de verrerie, etc.

CHAPITRE II

Analyse des terres. — Pour chaque destination spéciale, les argiles doivent être analysées d'une façon particulière ; nous ne considérons ici que la question générale : une argile étant donnée, déterminer sa composition. La recherche des alcalis lorsqu'elle est jugée nécessaire doit se faire dans une opération spéciale et par les procédés que nous indiquerons à la fin de cet article.

Nous prendrons par exemple une argile contenant de l'eau hygrométrique et de l'eau combinée, des matières bitumineuses, de l'oxyde de fer, du quartz, du silicate d'alumine, des carbonates de chaux et de magnésie.

L'analyse complète exige plusieurs séries d'opérations. On cherche d'abord à

évaluer l'eau hygrométrique en chauffant l'argile à la température de 100 degrés sur un bain de sable ou dans une étuve.

On détermine ensemble l'eau hygrométrique, l'eau combinée, l'acide carbonique et les matières bitumineuses, en calcinant fortement 3 grammes d'argile ; il est prudent d'opérer sous le moufle d'un four de coupelle (1) afin d'obtenir la combustion complète des substances organiques ; la matière calcinée : le quartz, le silicate d'alumine, le peroxyde de fer, la chaux et la magnésie.

Dans une opération spéciale, on évalue l'acide carbonique, en traitant l'argile par l'acide chlorhydrique, et en faisant passer les gaz dans une dissolution ammoniacale de chlorure de baryum ; on pèse l'acide carbonique à l'état de carbonate de baryte. On cherche en même temps à reconnaître, d'après la rapidité de l'effervescence, la nature des carbonates qui sont mélangés avec l'argile. Ce dosage de l'acide carbonique est du reste rarement utile ; dans la plupart des cas il suffit de déterminer l'eau hygrométrique et ensuite la perte par calcination dans une atmosphère oxydante.

Pour évaluer la proportion du sable quartzeux on ne peut employer que des procédés mécaniques. On laisse tremper longtemps dans l'eau un poids considérable d'argile, 200 ou 300 grammes. On délaie ensuite la matière, de manière à mettre l'argile entièrement en suspension ; en procédant par décantations successives, on finit par enlever toute la partie de la matière qui est susceptible de se mettre en suspension dans l'eau ; il ne reste au fond de la capsule de la terrine ou du vase A, que du sable en grains plus ou moins gros. On le reçoit sur un filtre pesé d'avance, on sèche à 100 degrés et on pèse ; la différence de poids donne la proportion de la matière sableuse. Il est indispensable d'examiner cette matière, qui peut contenir, outre le sable quartzeux, des grains de carbonate de chaux ou de dolomie. On la traite par l'acide chlorhydrique étendu, en prolongeant l'action de l'acide de manière à dissoudre la totalité des carbonates ; on lave la partie insoluble, on la calcine doucement et on pèse.

TERRE RÉFRACTAIRE

Analyse chimique sur la terre brute.	Séchée à 150°.	Calcinée.
Silice	68,28	73,70
Alumine	21,94	23,69
Peroxyde de fer	1,67	1,81
Chaux	0,64	0,70
Eau combinée	7,35	»
Eau hygrométrique = 6,70 %.		
	99,88	99,90

(1) Nous conseillons à cet effet le petit four (fig. 77) construit par M. Wiesnegg, lequel est muni d'un brûleur (fig. 78), de deux ou de trois becs (système Deville) alimentés par l'huile de pétrole, ne nécessitant que 6 à 8 mètres de tirage, et dans lequel on peut obtenir une température capable de fondre le cuivre.

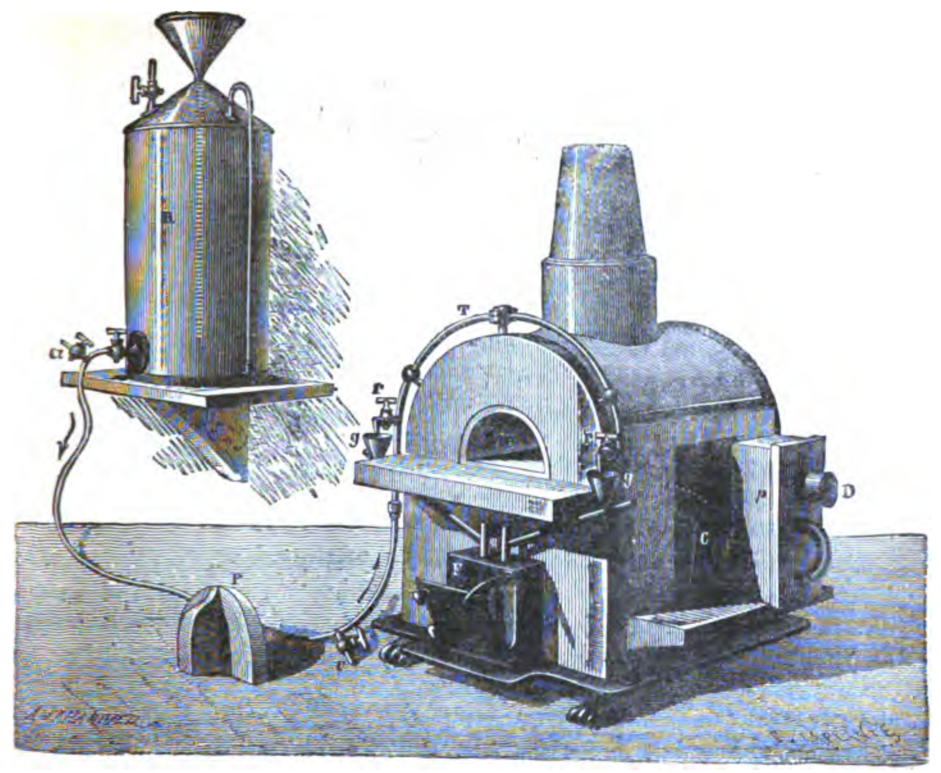


FIG. 77.

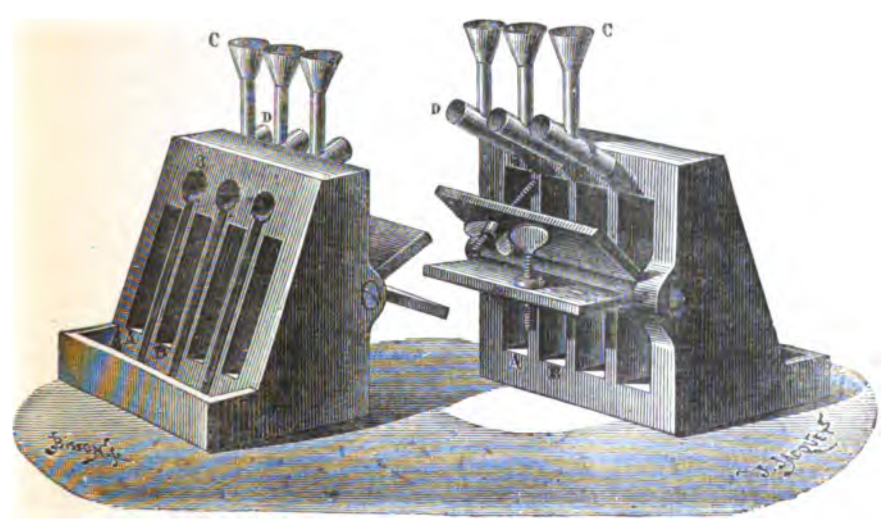


FIG. 78

ANALYSE MÉCANIQUE

Volume de l'eau écoulée par minute = 188 cc.

Vitesse de l'eau dans les laveurs par minute.

Analyse chimique des divers dépôts.		N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	Déposoir.
		millim. 0,08	millim. 0,056	millim. 0,036	millim. 0,024	
Poids des dépôts pour 100 de terre (1)		5,98	8,91	9,52	6,57	69,02
Analyse des dépôts.	Silice	88,90	82,80	79,10	78,90	69,70
	Alumine	9,15	15,18	18,60	18,34	26,81
	Peroxyde de fer.	0,85	1,42	1,20	1,56	1,99
	Chaux	1,00	0,60	1,10	1,20	1,50
		99,90	100,00	100,00	100,00	100,00

On a de cette manière le sable quartzeux ; on l'observe au microscope afin de reconnaître sa nature, et de constater qu'il ne contient pas de feldspath ou d'autres silicates (2).

L'analyse elle-même est faite sur l'argile calcinée ; cette matière est mélangée intimement avec quatre parties de carbonate de soude, et chauffée au rouge vif dans un creuset de platine. La fusion est un peu difficile à conduire en raison du bouillonnement que produit le dégagement de l'acide carbonique.

On réussit assez bien à éviter toute perte en plaçant le creuset de platine dans un creuset de terre et en chauffant ce dernier dans un four ordinaire de calcination ; on conduit le feu de telle manière que les matières ne commencent à entrer en fusion qu'au bout d'environ un quart d'heure ; l'action du carbonate alcalin sur le quartz et sur le silicate est alors à peu près complète au moment où la fusion devient parfaite ; le dégagement de l'acide carbonique ne produit pas de bouillonnement trop considérable.

Le creuset de terre chauffé sur toute sa hauteur rend très bien uniforme l'élévation de température dans le creuset de platine ; la surface des matières fondues reste parfaitement liquide et laisse passer aisément l'acide carbonique, ce qui n'aurait pas lieu si l'on chauffait le platine à feu nu.

Il est inutile de prolonger la fusion au delà de quelques minutes ; on laisse refroidir le creuset au rouge sombre : on le plonge brusquement dans l'eau contenue dans une grande capsule de porcelaine. Après avoir enlevé et bien lavé le creuset, on traite la matière par l'acide chlorhydrique, lequel doit être ajouté progressivement jusqu'à ce que le liquide soit franchement acide. La silice, en se séparant sous forme de gelée, s'oppose quelquefois à l'action complète de l'acide, il faut donc avoir soin d'écraser tous les grumeaux avec une baguette de verre.

(1) Tous les chiffres donnés dans ces analyses sont calculés sur la terre calcinée.

(2) On trouvera de bonnes indications en faisant séparément l'analyse de chacun de ces dépôts, comme l'indique le tableau ci-dessus. On constate d'après ces analyses, que pour les dépôts successifs on élimine peu à peu la silice, et à cause de la plus forte proportion d'alumine la plasticité augmentera en raison de la quantité de décantations. On peut donc arriver jusqu'à un certain point à rendre plus grasse, plus plastique, une terre ainsi lévigée.

Lorsque l'action de l'acide paraît terminée, on évapore progressivement jusqu'à sec. On maintient la matière sèche à la température de 100 degrés environ pendant vingt-quatre heures, puis on reprend par l'acide chlorhydrique. La silice seule reste insoluble, on la pèse après l'avoir lavée, séchée, calcinée. Le poids ainsi obtenu se rapporte au quartz et à l'acide silicique du silicate d'alumine et à l'acide des autres silicates qui peuvent être mélangés avec l'argile. Pour les argiles qui ne sont pas directement attaquées d'une manière complète par les acides, on ne connaît aucun moyen chimique de distinguer dans le dosage de la silice, le sable quartzeux et l'acide silicique des silicates.

La dissolution chlorhydrique est traitée par l'ammoniaque : ce réactif précipite l'alumine et l'oxyde de fer, qui entraînent une partie de la chaux et de la

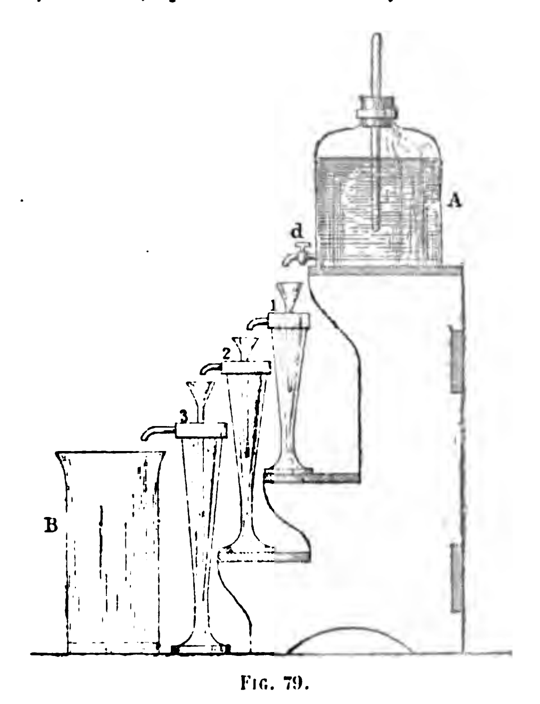


Fig. 79.

magnésie. Ce précipité, bien lavé, est dissous dans l'acide azotique, la liqueur est évaporée à sec, et le résidu chauffé à 180 degrés environ. On le fait chauffer ensuite à l'ébullition dans une dissolution saturée d'azotate d'ammoniaque, ce qui laisse insolubles l'alumine et l'oxyde de fer. On pèse ensemble ces deux oxydes après les avoir lavés, séchés et calcinés; on procède ensuite à la séparation de l'oxyde de fer et de l'alumine par l'une des méthodes que nous démontrerons plus tard.

On réunit les deux liqueurs ammoniacales que renferment la chaux et la magnésie, et on les traite successivement par l'oxalate d'ammoniaque et par le phosphate de soude. Le dosage de la chaux est à peu près exact, bien que le lavage de l'oxalate soit rendu un peu difficile par la présence d'une proportion considérable de sels alcalins dans la liqueur; pour la magnésie, on ne peut

obtenir, au contraire, qu'une approximation douteuse; le lavage convenable du phosphate double ammoniacal est à peu près impossible dans le cas actuel, car la précipitation est faite dans une liqueur renfermant beaucoup de sels alcalins.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Dans cette analyse des argiles, on ne peut arriver que difficilement à des nombres exacts; nous devons insister un peu sur les causes de perte et d'erreur, dont les effets se compensent presque toujours, de telle manière que la somme des corps dosés, portée au tableau de l'analyse, s'écarte en général très peu de 100.

La principale cause de perte est la volatilisation, ou, si l'on veut, le facile entraînement des chlorures, par les vapeurs d'eau et d'acide chlorhydrique pendant l'évaporation à sec. Ces pertes sont inévitables, elles portent principalement sur la silice, sur l'alumine et sur l'oxyde de fer.

Il est extrêmement difficile de rendre la silice complètement insoluble, en présence d'une forte proportion de chlorures alcalins; on doit donc peser une quantité de silice un peu moindre que celle contenue dans l'échantillon proposé à l'état de quartz et de silicate. La silice qui se dissout, se retrouve ensuite à peu près en entier avec l'alumine, ce qui tend à faire trouver pour cette base une proportion un peu trop forte, mais cela ne peut avoir aucune influence sur la somme du poids des corps dosés.

D'un autre côté, la présence des sels alcalins rend tous les lavages extrêmement longs, et, s'ils ne sont pas faits avec les plus grands soins, il reste une faible proportion d'alcalis dans presque tous les précipités. C'est une cause d'erreur en plus dans les dosages, et c'est à elle qu'on doit attribuer la compensation à peu près complète, quant à la somme totale des poids, des pertes faites dans l'évaporation à sec de la liqueur chlorhydrique, compensation que l'on remarque dans la plupart des analyses.

Lorsque tous les lavages ont été faits avec les soins convenables, la somme portée au tableau de l'analyse est toujours notablement inférieure à 100; de cette différence on ne doit pas conclure que l'argile renferme des alcalis, de même qu'une somme à très peu près égale à 100 ne peut pas être considérée comme une preuve de l'absence des alcalis.

On mélange, aussi intimement que possible, 5 grammes d'argile porphyrisée avec 5 ou 6 grammes de chaux parfaitement pure ou bien avec la proportion correspondante de carbonate de chaux. La matière est chauffée au rouge vif pendant une heure au moins dans un creuset de platine; il n'y a pas fusion, on observe tout au plus un commencement d'agglomération; cependant les silicates sont rendus complètement attaquables par les acides, ce qui est le seul but de l'opération, le sable quartzeux lui-même est entièrement transformé en silicate de chaux.

Après refroidissement et séparation du creuset, on traite la matière, d'abord par l'acide azotique un peu étendu, ensuite, par le même acide concentré, ou

chauffe au plus à 60 degrés jusqu'à ce que la décomposition des silicates paraisse complète. Lorsque ce résultat est obtenu, on sépare la silice en évaporant à sec et en reprenant par l'acide azotique un peu concentré. Il convient d'employer l'acide pur étendu d'environ son volume d'eau; en se servant d'un acide plus faible, on ne serait pas aussi certain de redissoudre l'alumine entièrement. On pèse la silice après l'avoir lavée, séchée, calcinée; on compare son poids à celui qui a été obtenu dans l'opération précédente, afin de reconnaître si l'action de la chaux a été suffisante pour rendre tous les silicates attaquables par l'acide azotique. Lorsque la différence entre les deux nombres est très faible, il convient de prendre pour la silice, le poids que donne l'attaque par la chaux, les causes de la perte étant moins grandes dans cette opération.

La liqueur azotique est évaporée à siccité, et le résidu chauffé à 170 ou 180 degrés au plus, jusqu'à décomposition totale des azotates de fer et d'alumine; la matière pulvérisée avec soin et détachée de la capsule, est traitée par une dissolution saturée d'azotate d'ammoniaque, chauffée à l'ébullition.

Les peroxydes de fer et d'alumine restent insolubles, mais l'alumine étant en quantité assez grande et retenant aisément un peu d'alcali, il faut traiter une seconde fois ces oxydes par l'acide azotique, l'évaporation à sec, la calcination modérée du résidu et la reprise par l'azotate d'ammoniaque. La partie insoluble est calcinée et pesée. On doit faire sur cette matière un second dosage de l'alumine et du peroxyde de fer pour vérifier les déterminations qui ont été effectuées après l'attaque par le carbonate de soude.

Les dissolutions d'azotate d'ammoniaque contiennent : l'alcali, la magnésie, la chaux du minéral, et la chaux qui a été employée pour rendre l'argile attaquable par l'acide azotique. On les traite par l'ammoniaque et l'oxalate d'ammoniaque pour séparer la chaux. Le précipité est lavé avec le plus grand soin, mais il est inutile de calciner et de peser la chaux : on ne peut pas déduire du poids obtenu le dosage de la terre alcaline.

La liqueur ammoniacale est ensuite évaporée lentement à sec, le résidu est calciné modérément; par là on produit la décompostion totale des sels ammoniacaux et la décomposition partielle des azotates de potasse et de magnésie. On rend cette décomposition complète en traitant la matière calcinée par l'eau et l'acide oxalique, et en recommençant l'évaporation. Le résidu calciné au rouge sombre, est un mélange de magnésie caustique et de carbonate alcalin : on dissout ce dernier dans l'eau; on pèse le résidu insoluble, ce qui permet de vérifier le premier dosage de la magnésie. La liqueur est acidifiée par l'acide chlorhydrique et traitée par le chlorure de platine et par l'alcool; on calcule la potasse d'après le poids du chlorure double de platine et de potassium. Il est, de plus, convenable de chercher si la dissolution alcoolique ne renferme pas au moins des traces de soude.

Ces opérations sont longues et délicates, les nombres obtenus pour la magnésie et pour la potasse ne sont pas toujours exacts parce qu'il n'est pas facile de se procurer de l'oxalate d'ammoniaque et de l'acide oxalique parfaitement purs.

EXAMEN DES PRODUITS FABRIQUÉS

On fabrique avec les argiles un très grand nombre de produits employés dans l'industrie, ou appliqués aux usages domestiques : des briques de différentes qualités, des creusets de laboratoire, des creusets de verrerie, des creusets et des moufles pour les usines à zinc et pour les usines à gaz, des porcelaines, des faïences, des grès, des poteries les plus diverses, etc.

Ainsi que nous l'avons déjà dit, l'analyse des argiles donne des indications utiles sur la possibilité ou l'impossibilité d'utiliser ces matières pour un usage déterminé, mais elle ne suffit pas ordinairement pour déterminer la valeur que les argiles peuvent avoir dans l'industrie.

L'analyse est impuissante à résoudre la question qui présenterait en général le plus grand intérêt pratique : étant donné un fragment de brique, ou de creuset, etc., dont la qualité a été bien constatée par l'usage, reconnaître avec quelle proportion de matières premières l'objet proposé a été fabriqué. Il est encore bien plus impossible de distinguer par l'analyse jusqu'à quel point les soins pris dans la fabrication ont influé sur la qualité.

CHAPITRE III

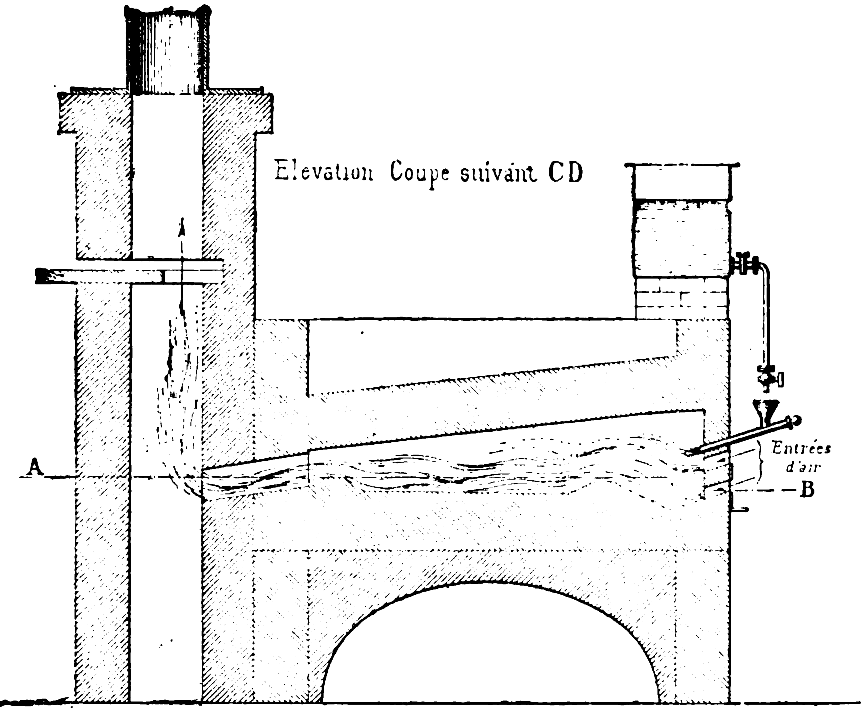
Essais de fusion ou de retrait. — Un essai pratique important qui donnera des indications précieuses au fabricant consistera à soumettre à une dessiccation méthodique des fragments de pâte à briques ou à creusets, des fragments de briques ou de tuiles récemment moulées, de noter le retrait pris pendant cette dessiccation, puis de soumettre ces produits à une pression déterminée et à une température élevée et également déterminée, comparant les produits essayés à des témoins de composition et de résistance connues. On emploiera aussi utilement à cet effet un four chauffé par un brûleur Sainte Claire-Deville, alimenté par des huiles lourdes de pétrole, ou des huiles lourdes, provenant de résidus de la distillation de la houille dans les usines à gaz importantes. M. Audoin, ingénieur en chef de la Compagnie parisienne du gaz, a imaginé un petit four spécial à ces essais de produits réfractaires et dont voici le principe et le dessin. L'huile lourde de houille fournie par la Compagnie parisienne ayant pour densité à zéro 1,041, présente la composition suivante :

Carbone	82
Hydrogène	7,6
Oxygène, azote et soufre	10,4
	100,0

Son pouvoir calorifique est de 8,916.

Cette huile, en tombant dans le brûleur (dans lequel on a placé au début, pour l'allumage, un peu de coton imbibé de pétrole) se réduit en vapeurs qui rencontrent à ce moment l'air arrivant par les ouvertures pratiquées dans la

porte; il se produit de cette façon une flamme analogue à celle d'un chalumeau, qu'il est facile de faire fonctionner dans les conditions les plus convenables,



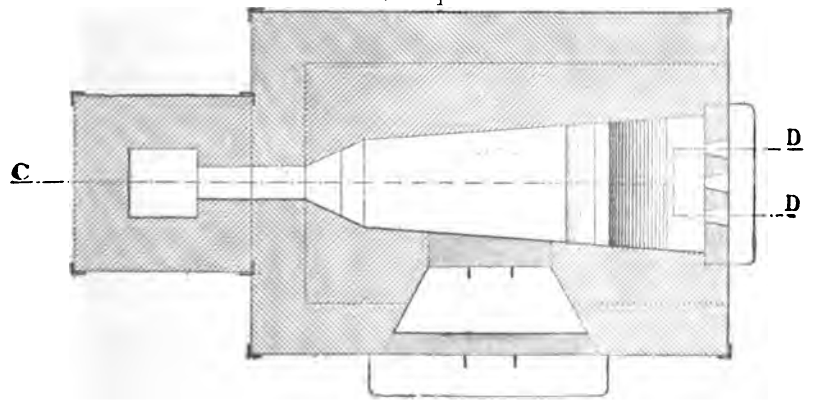


Fig. 80.

par un simple jeu de robinets. On peut ainsi opérer à volonté les réactions dans une atmosphère oxydante ou réductrice.

Quand le four est bien réglé, la combustion est complète, il ne se produit pas de fumée, et l'huile brûle sans laisser le moindre résidu.

Lorsque la combustion des huiles s'opère dans un foyer disposé de façon à

concentrer la chaleur dans un petit espace, la température est si élevée, qu'on peut y fondre en quelques heures les briques les plus réfractaires. On fera donc usage pour la construction de ces fours d'épreuves, de matériaux réfractaires de choix, soit de plombagine mélangée d'un peu d'argile, soit de magnésie, soit de bauxite, soit de sels de chrome comme l'a conseillé M. Audoin il y a quelques années. On pourrait à l'occasion, comme moyen de chauffage, remplacer l'huile lourde décrite ci-dessus par du goudron brut.

Dans ce réservoir contenant l'huile lourde on fera passer un serpentin avec de la vapeur afin d'empêcher la solidification de cette huile. Nous avons obtenu de bonnes indications par l'emploi de ce système de four, au point de vue du retrait et de la résistance déterminés des produits réfractaires d'essais soumis à des expériences.

On devra attacher également une grande importance à la préparation des matériaux réfractaires, à leur densité et à leur fort degré de cuisson. Le degré de cuisson des produits réfractaires doit être au moins égal à celui qu'auront à supporter ces produits dans les constructions auxquelles ils sont destinés.

CHAPITRE IV

PRODUITS RÉFRACTAIRES MAGNÉSIENS

La communication de M. Schlœsing à l'Académie des sciences, sur l'extraction de la magnésie des eaux de la mer, donne un grand intérêt à ce qui concerne l'emploi de ce corps comme produit réfractaire. Son prix élevé a seul, jusqu'à présent, réduit ses usages industriels. L'*Engineering and Mining Journal* vient de reprendre succinctement l'historique de la question.

Tessié du Motay se servait, pour la fabrication de ses produits réfractaires qui ont fait grand bruit il y a quelques années, de la magnésie de l'île d'Eubée, donnant à l'analyse :

Silice	3,92
Oxyde de fer et alumine	0,98
Carbonate de chaux	6,84
Carbonate de magnésie	88,10
	99,84

La teneur en magnésie est considérable ; mais elle est contre-balancée par une trop forte proportion de silice, pour être d'un bon emploi. Tessié du Motay s'en servit néanmoins pour fabriquer à Hœrde des briques ayant pour composition :

Silice	6,87
Oxyde de fer et alumine	1,86
Chaux	3,18
Magnésie	87,80
	99,71

A Frankenstein (Silésie), Haup et Lange, de Brieg, ont fabriqué des briques répondant à la composition suivante :

Silice	9,65
Oxyde de fer et alumine	0,52
Chaux	0,78
Magnésie	89,78
	100,73

Les usines de Witkowitz (Autriche) emploient des briques analogues dont la matière première se trouve en Styrie.

Closson, à Stassfurth, utilisant les eaux mères de potasse, a constitué des produits tenant :

Silice, oxyde de fer et alumine	1,05
Chaux	1,94
Magnésie	96,69
	99,68

Scheibler, de Berlin, calcine de la dolomie, et la traite en l'agitant avec une solution de mélasse à 10 ou 15 pour 100 de sucre. La dolomie se décompose, la chaux se dissout, et la magnésie se précipite par inégalité de densité. La solution de sucrate de chaux obtenue est décantée, puis décomposée par barbotage d'acide carbonique ; la solution claire qui reste sert au traitement d'une nouvelle quantité de dolomie calcinée.

Le magma magnésien résultant du procédé de Scheibler est formé de :

Silice, oxyde de fer et alumine	1,48
Chaux	2,18
Magnésie	95,99
	99,65

Pour les briques de magnésie c'est le cas de conseiller, avec plus d'insistance encore que pour les autres matériaux réfractaires, de cuire ces produits à une température égale à celle à laquelle ils seront soumis par la suite.

Depuis quelques années l'emploi de la magnésie dans la fabrication des matériaux réfractaires à pris une extension considérable.

Une importante Société, la Société des travaux publics et communaux d'Athènes s'est fondée en Grèce pour livrer la magnésie calcinée à divers degrés de température.

Cette Société exploite les gisements de giobertite d'Eubée, qui sont d'une puissance et d'une richesse exceptionnelles. Ainsi le filon l'*Elaphossourala*, près Mantoudi, a une puissance de 15 mètres et est reconnu sur plus de 300 mètres en direction. Il est en pleine exploitation, et les chargements qu'on expédie de ce filon en Europe contiennent de 97 à 98 pour 100 de carbonate de magnésie.

L'analyse donne comme composition moyenne :

Silice.	0,45
Oxyde de fer	0,25
Alumine.	0,10
Carbonate de chaux	1,40
Carbonate de magnésie	97,80
	100,00

La giobertite est vendue à l'état cru à diverses industries qui utilisent l'acide carbonique pour les eaux gazeuses et la magnésie à l'état de sulfate ou sel anglais. Le carbonate de magnésie est préféré au calcaire pour la fabrication de l'acide carbonique, parce que le sulfate de magnésie produit dans la réaction est soluble et qu'il a un écoulement facile soit comme produit pharmaceutique, soit dans l'apprêt des cotonnades.

Mais le minerai est surtout employé à l'état calciné, c'est-à-dire à l'état de magnésie.

On sait que la magnésie obtenue par la calcination du carbonate naturel jouit de propriétés spéciales à divers degrés de calcination.

Ainsi,calcinée au rouge sombre, elle est caustique, c'est-à-dire absorbe l'eau avec dégagement de chaleur et est en même temps hydraulique, c'est-à-dire durcit très rapidement après avoir été mouillée et est en général très propre aux diverses réactions chimiques utilisées dans l'industrie. C'est ainsi que l'on fabrique les meules d'émeri en ayant recours aux propriétés agglutinantes des oxychlorures de magnésium.

Le même principe est appliqué à la fabrication des stucs magnésiens qui remplacent avantageusement ceux de plâtre. On a de même utilisé dans le procédé Ekman le bisulfate de magnésie pour séparer de la pâte de bois, dans la fabrication du papier, les résines et matières incrustantes du bois.

La magnésie calcinée a été aussi utilisée pour fixer à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien l'ammoniaque contenu dans les eaux des égouts et produire ainsi des engrais excellents, tout en assainissant les égouts.

Briques de magnésie. — A des températures plus élevées, la magnésie se contracte et la contraction arrive à 40 pour 100 linéairement, si la température est suffisamment élevée, c'est-à-dire qu'une brique en magnésie caustique ayant 10 centimètres de longueur n'aura plus que 6 centimètres, si elle est suffisamment calcinée.

Cette contraction a été l'obstacle le plus considérable à la fabrication des briques de magnésie, à cause des températures énormes nécessitées pour arriver au maximum de contraction, sans faire perdre à la brique sa solidité.

Il est d'ailleurs évident que si l'on parvenait à fabriquer couramment la brique de magnésie ayant subi le maximum de contraction, on aurait par là résolu le problème de la fabrication d'un produit éminemment réfractaire aux températures les plus élevées employées dans l'industrie.

Ce problème, qui avait été résolu par Tessié du Motay d'abord, mais sans résultat pratique, à cause des prix énormes que coûtait la fabrication, vient

d'être repris par la Société des Travaux publics communaux, qui est arrivée à fabriquer des produits d'une parfaite solidité, aussi bien contre les effets mécaniques que contre les effets des plus fortes chaleurs industrielles.

Pour faire comprendre la supériorité de ces briques, il suffit de faire remarquer qu'aux températures où elles sont produites, toutes les autres briques réfractaires, aussi bien en terre réfractaire qu'en silice, fondent avec la plus grande facilité.

Les hautes températures nécessaires à la cuisson sont obtenues dans un four à gaz à chauffe méthodique alimenté par des gazogènes qui sont chargés avec un mélange de houille anglaise et de lignite du pays.

Les parois de ce four et les voûtes sont, bien entendu, construites avec les mêmes briques de magnésie, aucune autre brique ne pouvant résister à ces hautes températures

L'analyse de ces briques est la suivante :

Silice	1,50	à 2,50
Alumine et oxyde de fer. .	0,75	1,25
Chaux	1,50	3,00
Magnésie.	96,25	93,25
	100,00	100,00

Parmi les qualités que présentent les briques de magnésie, figure aussi celle de ne pas s'user au contact des flammes.

Personne n'ignore que les autels en briques de silice des fours à haute température finissent par disparaître sur l'action de la flamme. Beaucoup d'ingénieurs croient que c'est une espèce de volatilisation, sans passer par l'état liquide. Il n'en est rien cependant, la brique en silice finit par disparaître, parce qu'il se forme à ses dépens des gouttelettes très fluides qui sont emportées par les fumées. La brique finit par être ainsi rongée comme si elle était grignotée par une souris.

Les briques de magnésie infusibles aux températures industrielles ne sauraient donner lieu à ce phénomène et résistent ainsi indéfiniment au contact des courants de flammes les plus violentes. Mais dans leur emploi il leur faudra éviter le contact d'autres briques et de poussières surtout composées de silicates d'alumine et divers, avec lesquels la magnésie donnerait lieu à des silicates multiples très fusibles. Le contact des briques en silice pure est moins dangereux tant que la température n'atteint pas le point de fusion de la silice : si la silice fondait, elle attaquerait la brique de magnésie. Il ne faut pas oublier que le silicate simple de magnésie est plus infusible que la silice.

Ciment magnésien. — Dans les constructions en briques de magnésie les joints sont faits avec un ciment magnésien qui n'est autre chose que de la magnésie calcinée et broyée.

Le ciment est employé comme coulis, c'est-à-dire qu'il est délayé dans de l'eau jusqu'à former une pâte bien liquide. Si par hasard, il a formé des grumeaux à cause de l'humidité, il faut remoudre les grumeaux, afin que le

coulis ne tienne pas d'une manière sensible sous les doigts, ce qui rendrait les joints trop gros; comme pour toutes les maçonneries réfractaires, celles en briques de magnésie réclament des joints fins, et plus ils sont fins, mieux cela est. Aussi conseille-t-on de frotter les briques les unes sur les autres, de manière à bien dresser les surfaces et faire les joints aussi fins que possible, particulièrement pour les voûtes.

On recommande aussi de faire monter la température après 48 heures de séchage à froid, le plus graduellement possible jusqu'aux plus hautes températures, afin de faire prendre le ciment solidement. Quatre à cinq jours pour arriver à la température de 1.600 degrés à 1.800 degrés ne paraissent pas un délai trop long. De cette manière on arrive à former un tout rigide avec les briques et le ciment.

Il est bien clair qu'à ces hautes températures les dilatations sont énormes et qu'il faut prendre dans la construction toutes les précautions recommandées pour les briques en silice, en laissant aux dilatations le jeu nécessaire pour éviter les dislocations.

Pour les réparations en marche, sans laisser les fours se refroidir, c'est-à-dire pour les réparations aux températures de 1.500 degrés à 1.800 degrés, il faut faire du coulis au goudron et l'employer comme celui à la dolomie, ainsi que l'on fait dans les aciéries, mais les réparations à la magnésie ont sept à huit fois la durée de celles faites à la dolomie.

Cette question de l'emploi de la magnésie étant toute d'actualité et présentant un grand intérêt, nous avons pensé qu'il était intéressant de le présenter avec tous les détails qu'elle comporte.

A cet effet, nous reproduisons ci-après une note de M. P. Négris sur l'emploi des briques de magnésie.

La voûte de magnésie étant utilisée pour dépasser les températures que l'on obtient avec la voûte en silice, nous considérons comme désavantageux son emploi dans les fours qui ne sont pas complètement en briques de magnésie, du moins dans les parties exposées au contact direct de la flamme : car la présence de briques en silice dans ces parties empêchera d'atteindre le but que l'on se propose : il serait, en effet, fâcheux que le four fût mis hors de service à cause des parties en silice, tandis que la voûte serait encore en bon état.

Un point de la plus haute importance dans la construction des voûtes en magnésie (fig.81), est de laisser une libre dilatation aux briques, afin qu'elles puissent résister aux efforts énormes auxquels elles seront soumises à cause des dilatations. A ce sujet, nous signalons le fait suivant qui nous est arrivé au début de nos essais, lorsque nous n'avions pas laissé assez de jeu pour les dilatations dans notre four à cuire les briques de magnésie.

Nous entendions dans notre four comme des détonations d'armes à feu, provenant de la rupture des briques. Tous ces effets ont disparu, dès que nous avons permis aux briques de se dilater librement.

Pour cela, les précautions à prendre sont de laisser tous les mètres ou tous les 2 mètres, dans les voûtes, le long de la génératrice et transversalement à celle-ci, des fentes de 2 centimètres par mètre de longueur de génératrice.

Dans le sens rectangulaire, il faudra aussi permettre la dilatation au moyen de forts ressorts interposés dans les armatures, car dans ce sens on ne peut ménager de fentes. Nous considérons ces précautions plus importantes encore pour les briques de magnésie que pour les briques en silice, car les briques en silice à 1.650 ou 1.700 degrés, commencent à prendre l'état pâteux, état que nos briques ne prennent qu'à 2.100 degrés, il faut donc les soulager de 1.650 à 2.000 degrés, autant que possible, par les artifices ci-dessus.

Nous considérons aussi comme indispensable de laisser au-dessus de la voûte en magnésie une distance de 5 à 10 centimètres de vide, et que ce vide soit recouvert d'une seconde voûte en briques réfractaires (fig. 81 et 82).

De cette manière, l'espace vide maintenu au-dessus de la voûte de magnésie,

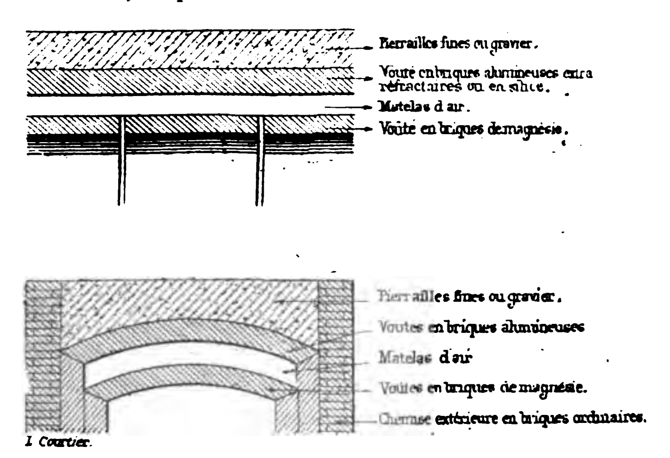


Fig. 81 et 82.

grâce aux fentes ménagées comme il a été dit précédemment, reste à une température très voisine de celle de l'intérieur du four. Cette température, nous la considérons comme très favorable à la bonne tenue des briques de magnésie, qui, étant mauvaises conductrices de la chaleur, doivent être chauffées aussi uniformément que possible.

Et cela pour la chambre de travail, comme pour les brûleurs; dans ce dernier cas, ces dispositions ne pouvant être appliquées, nous formons nos voûtes de brûleurs de petits éléments, suivant l'épaisseur de la voûte.

Nous donnons à la voûte une épaisseur de 10 à 11 centimètres, c'est-à-dire une largeur de brique ordinaire.

Si les brûleurs sont très larges, on pourrait faire une double voûte semblable. Nos brûleurs n'ayant que 24 à 35 centimètres de large, nous n'employons qu'une seule voûte.

Mais nous insistons spécialement sur la nécessité de laisser une libre dilatation aux briques et sur la double voûte avec vide interposé pour échauffer les briques de la voûte aussi uniformément que possible.

Remarque. — Nous préférons les fines pierrailles au sable, au-dessus de la voûte supérieure, dans la crainte qu'à la suite d'une cassure le sable ne

vienne à couler sur la voûte en magnésie. La silice entrant en combinaison avec la magnésie, il en résulterait la destruction rapide de la voûte. Les armatures ne sont pas indiquées sur les figures ci-dessus mais elles sont indispensables. Aujourd'hui presque tous les fours Martin d'Allemagne, d'Angleterre, de Suède et d'Amérique, sont à armatures à sommiers portant des ressorts de wagon recevant les efforts de traction des tirants de ces armatures.

Nous devons signaler aux verriers, aux industriels qui se servent de fours chauffés à de hautes températures, l'emploi que l'on devrait tenter de ces *gaizes* des Ardennes, pour la fabrication des briques, ou pour celle des creusets. Pour les creusets on pourrait comprimer fortement la gaize de façon à en former des creusets de toute pièce.

L'emploi de la stéatite et des compositions réfractaires à l'oxyde de chrome ne devraient pas non plus être négligées, pas plus que celles à la bauxite dont le retrait a effrayé bien des céramistes, mais auquel on peut remédier connaissant sa composition en l'alliant à des terres maigres et en cuisant à une température *très élevée et prolongée*. Voici la composition d'une bauxite du *Var*, cette analyse a été faite par nous en 1881 :

Silice	49,00
Alumine	48,13
Peroxyde de fer	1,57
Chaux	1,20
Magnésie	traces
Alcali	0,10
	100,00
Eau totale avant calcination	13,64

Dans la fabrication des produits réfractaires on doit attacher une extrême importance à la dureté, à la densité des pâtes employées pour le moulage des pièces.

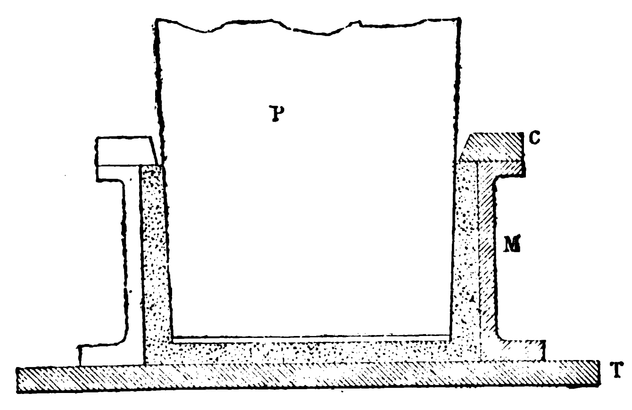


Fig. 83.

Depuis six années on fabrique à Ampsin et à la Société asturienne près Lille,

des creusets servant à la calcination des minerais de zinc. Ces creusets sont fabriqués mécaniquement. MM. Simons, fabricants de produits céramiques, au

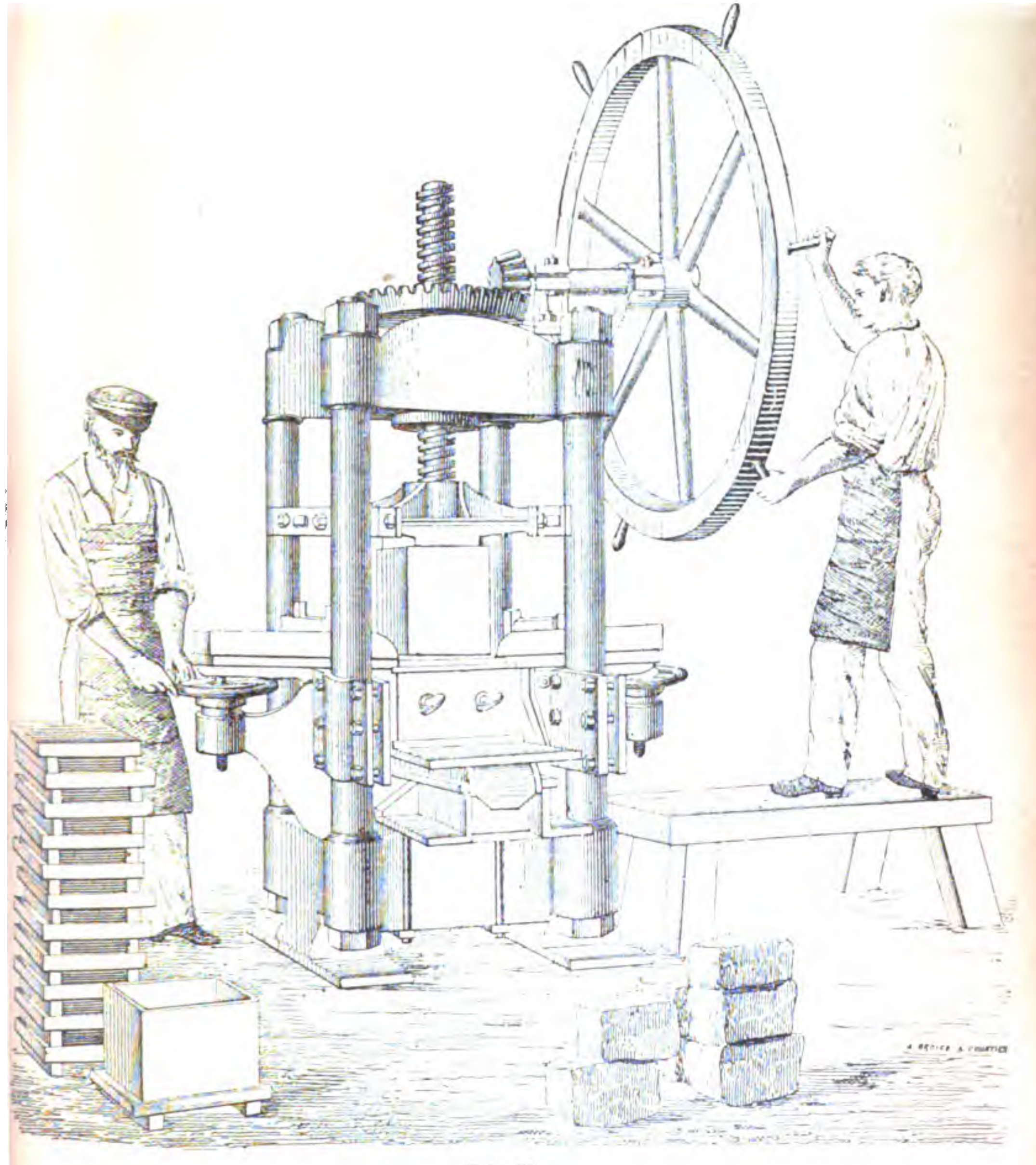


Fig. 84

Cateau (Nord), ont imaginé un procédé particulier pour le moulage à la presse hydraulique des gazettes dans lesquelles on place les pièces de faïence destinées à la cuisson. Voici ce que M. P. Simons dit au sujet de cette fabrication :

La terre, à l'état de pâte aussi consistante qu'un malaxeur peut la fournir, est déposée en quantité suffisante au fond d'un moule, composé de trois pièces, que la machine, pendant l'opération, tient solidement réunies: la table T (fig. 83), le moule M et le cercle C.

Le rapprochement de ce moule avec le piston creux, est effectué avec la force nécessaire, avec une vis, par une pression hydraulique. Le peu de terre qui pourrait se trouver en trop s'échappe par la fente annulaire, qui existe entre le piston et le cercle C sans préjudice de la pression à laquelle la matière doit être soumise à l'opération.

Les gazettes ainsi faites sèchent très vite sans se fendre et se déformer et, au four, elles résistent beaucoup plus longtemps.

L'opération pour la confection d'une pièce dure en moyenne deux minutes et demie, y compris le démoulage, qui se fait mécaniquement. Pour la manœuvre de la machine il faut deux hommes, et quand nous aurons ajouté qu'on peut se passer d'ouvriers spéciaux, on comprendra les avantages de ce système de fabrication.

Bien des tentatives avaient déjà été faites pour fabriquer ces pièces à la machine, mais le système dont je viens d'expliquer le principe est le premier qui permette d'obtenir ces pièces complètement finies, avec de la terre soumise à une pression relativement considérable. Il est à remarquer que cette pression ne dure que pendant un temps excessivement court, quand le piston, un peu conique, est arrivé presque au bout de sa course.

On voit qu'en un moment donné la terre est enfermée de toutes parts, tout en étant soumise à la pression voulue; c'est-à-dire que la presion et la fermeture complète s'établissent simultanément, grâce à l'anneau mobile C, qui, en arrêtant la terre, complète le moule à sa partie supérieure. La disposition des moules en trois pièces permet le démontage, qui dépose la gazette sur un rondeau en terre cuite ou en plâtre.

Pour la fabrication des grosses pièces, comme des pots de verrerie, des cornues à gaz et d'autres, on pourrait se servir de la presse hydraulique. La terre est employée avec beaucoup moins d'eau, presque à l'état sec, et les pièces sortent de la machine avec une consistance assez grande pour pouvoir être manipulées facilement sans se déformer. La dessiccation se fait rapidement et dans d'excellentes conditions.

CHAPITRE V

Fabrication des creusets, dalles, briques, etc., pour une verrerie. — L'art de travailler les argiles est, après l'art de fabriquer des armes pour leur défense, les peaux, puis de grossiers tissus pour leurs vêtements, celui que les hommes ont cultivé le premier, celui qui a été comme la première ébauche de la civilisation.

La céramique fit de rapides progrès dans l'Asie orientale, mais surtout chez

les Indous, les Coréens, les Chinois, les Japonais ; c'est à eux qu'on doit l'invention du *plateau tournant* et du *tour à potier*.

La choix de l'argile pour la confection des poteries est justifié par la plasticité considérable dont elle jouit et par le durcissement qu'elle acquiert par la cuisson ; mais, à côté de ces deux qualités si précieuses, viennent se placer deux propriétés qui les contre-balancent. La première est le *retrait* plus ou moins fort qu'elle éprouve par la cuisson, retrait qui tend à produire la déformation des vases façonnés avec cette substance. On atténue cet inconvénient en ajoutant à l'argile une substance désignée sous le nom de *ciment* ou de matière dégraissante qui, diminuant sa plasticité, rend aussi son retrait moins considérable. Dans le cas qui nous occupe (fabrication des creusets), les substances qui agissent ainsi sont le sable et l'argile calcinée. Notre poterie nécessitera donc pour sa confection l'emploi d'une *argile* et d'une *substance dégraissante* qui, par leur mélange, servent à former la pâte destinée à façonner le creuset.

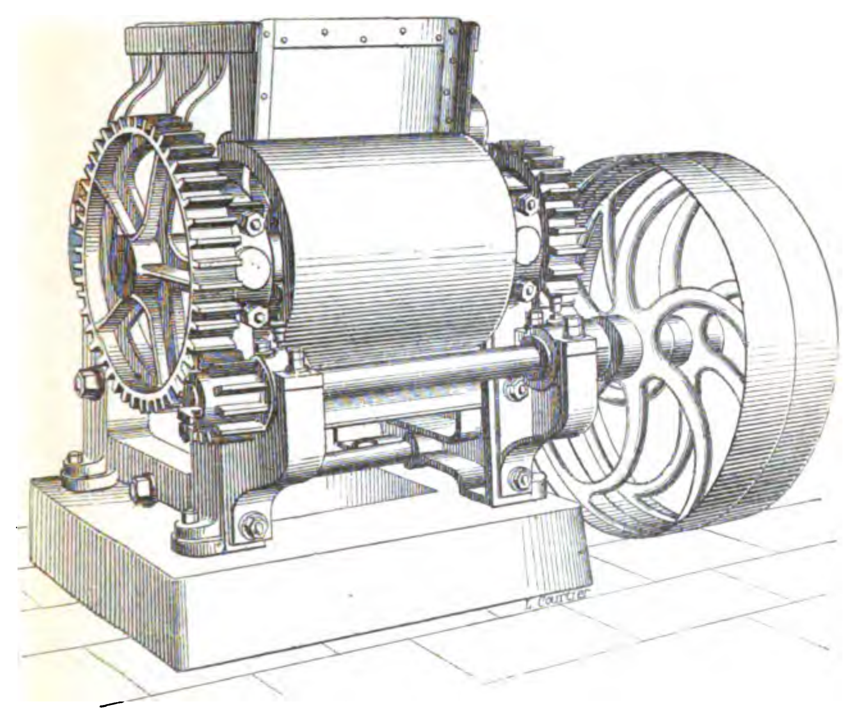


FIG. 85. — Broyeur à cylindres.

Les terres réfractaires sont grasses, demi-grasses, maigres, suivant la proportion d'alumine qu'elles contiennent.

Les terres généralement employées sont les terres de Belgique (Andennes), les terres allemandes du Palatinat et des environs de Bonn ; en Angleterre, celles de Stourbridge ; en France, les terres de Forges-les-Eaux, du pays de Bray, de Champagne, de Montereau, de Provins, etc.

Les terres de France présentent toutes les variétés, mais les terres grasses dominent.

Ces terres, à leur arrivée dans une verrerie sont épluchées, concassées, réduites en poudre (pl. I. fig. 2), soit sous des meules à plateau horizontal tournant, soit entre les cylindres (fig. 85), puis mélangées avec de la terre cuite (terre maigre) qui servira de ciment, et avec des débris de vieux creusets.

Pour le broyage de ces derniers produits relativement durs, on pourra avec avantage faire usage de l'appareil Askham (fig. 86), qui est employé depuis

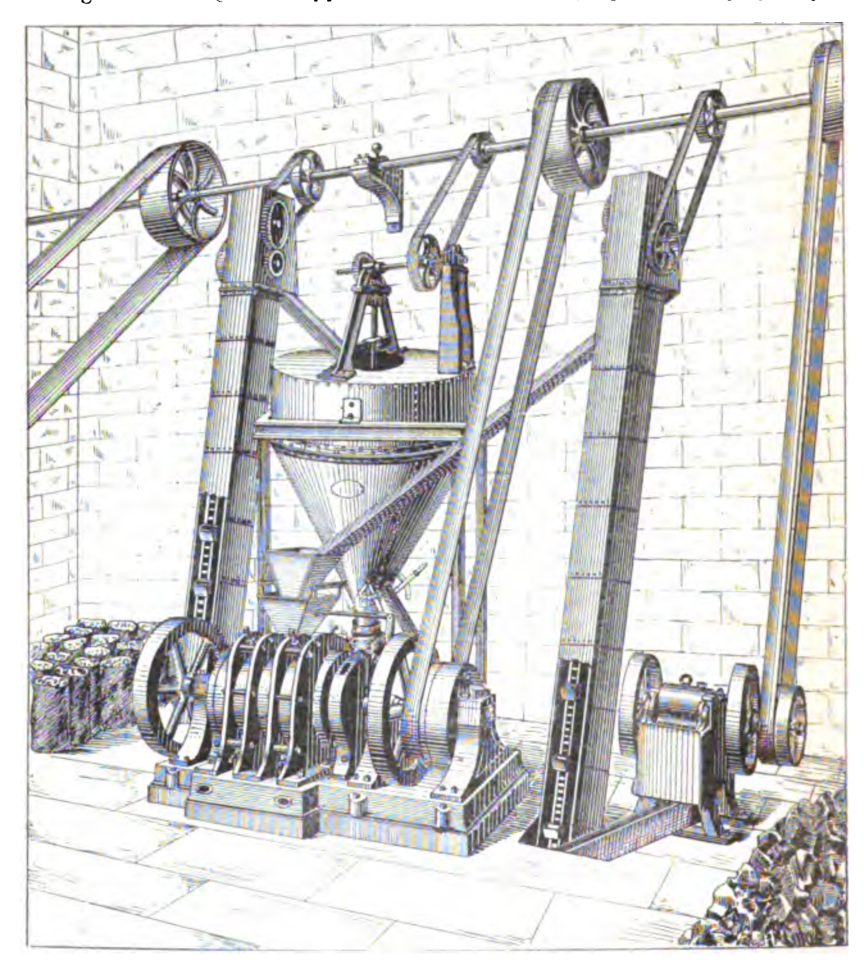


FIG. 86. — Appareil Askham pour le concassage, la pulvérisation et le classement des matières dures : Ciment, Argiles calcinées, etc., etc.

peu dans les fabriques de ciment pour le concassage, la pulvérisation et le classement de la matière cuite.

Les résultats obtenus sont, paraît-il très satisfaisants tant au point de vue du rendement que de la régularité de mouture et de classement.

Étant données la compacité, la dureté excessive que possède le ciment à la sortie des fours de cuisson, il est à supposer que l'appareil Askham rendrait

de grands services dans la préparation des produits réfractaires, pour le broyage et la séparation des matériaux cuits.

Le mélange de terres crues, de terre cuite et de débris de creusets est humecté, passé dans un cylindre placé verticalement (pl. I, fig. 1), et dans lequel tourne un arbre, muni de lames héliçoïdales; en haut de ce cylindre coule un filet d'eau; au bout de quelques minutes le mélange de terres, de ciment et d'eau, prend corps, puis devient plastique. A la partie inférieure du cylindre malaxeur, la terre est chassée par le mouvement de l'arbre et de ses lames; on prend cette terre, on la jette de nouveau dans la partie supérieure du cylindre, on répète cette opération plusieurs fois.

Certaines verreries font usage pour la préparation des pâtes argileuses d'un appareil d'origine américaine dit Pétrisseur mélangeur.

Ainsi que son nom l'indique, cet appareil n'est autre chose qu'un pétrin mécanique dans lequel les argiles additionnées de la quantité convenable de ciments dégraissants et d'eau sont mélangées et triturées par l'action de lames qui brassent l'ensemble.

Voici une composition pour creusets :

150	terre d'Andennes crue	(*a*)
150	terre de Normandie crue	(*b*)
200	terre d'Andennes calcinée	(*c*)
200	débris de creusets pulvérisés	»

	a	*b*	*c*
Silice	75,09	61,62	81,39
Alumine	17,23	28,20	16,91
Peroxyde de fer	1,57	1,36	1,20
Chaux	0,56	0,55	0,50
Magnésie	»	»	traces
Alcali	»	traces	»
Eau combinée	5,55	8,27	»
	100,00	100,00	100,00

Le broyage des argiles et des terres calcinées, la préparation à sec du mélange de ces poudres, donnent lieu à la production d'abondantes poussières qui rendent pénible le travail des ouvriers.

Pour remédier à ce facheux état de choses, de nombreux appareils ont été proposés; parmi eux nous citerons l'appareil Jouanney, qui nous paraît résoudre la question de la façon la plus rationnelle.

Cet appareil (fig. 87) fonctionne de la façon suivante :

L'air chargé de poussière est amené par un ventilateur dans une chambre conique *c* d'où, par le tuyau *t*, il pénètre sous une cloche A qui plonge dans une bâche à eau B. Le dessus de la cloche A est percé d'un grand nombre de petits trous par lesquels l'air s'échappe après avoir traversé une nappe d'eau de 3 à 4 centimètres de hauteur. Les poussières se rassemblent dans le fond de la bâche B.

A défaut de ventilateur, on peut garantir les ouvriers contre l'inhalation

des poussières au moyen de masques respirateurs, tels que celui du D[r] Detourbe, dont le fonctionnement ne cause aucune gêne de la respiration ni de la parole.

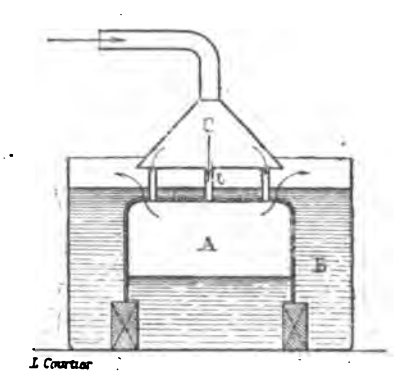


FIG. 87.

Des expériences faites récemment avec ce masque ont donné des résultats excellents et très concluants.

Anciennement, les terres, après leur mélange et ce mélange, contenant la proportion d'eau nécessaire à leur trituration, étaient *marchées*, c'est-à-dire subissaient la pression maintes fois répétée d'ouvriers piétinant le mélange; on a dû renoncer à cette manière de faire et le marchage est maintenant remplacé par un laminage.

Deux cylindres, animés de vitesses différentes, tournent autour de leurs axes horizontaux. Ces cylindres sont écartés l'un de l'autre de quelques millimètres; la terre jetée entre eux est laminée, étirée et poussée sous ces cylindres; sortant alors par une filière qui la guide, elle passe à l'état de pâte continue, sur des rouleaux garnis de toile mouillée et de là, au moyen d'un fil métallique, on coupe cette pâte par morceaux à peu près égaux (*pastons*) (pl. II).

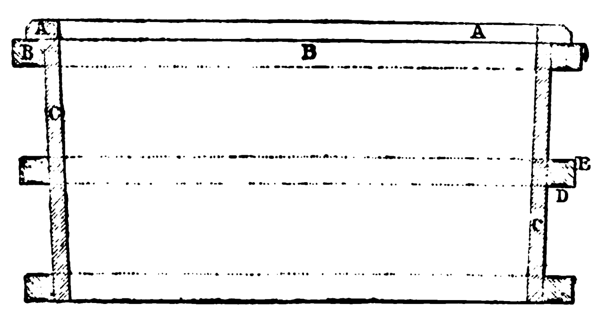


FIG. 87 *bis*. — Section longitudinale.

Sortant de ce laminage, la terre est portée à la cave, où s'effectue le phénomène du *pourrissage*, phénomène que je ne considère pas comme indispen-

sable, mais qui a une certaine influence au point de vue de la plasticité que l'on obtient plus rapidement ainsi. Le séjour à la cave permet en outre d'y laisser

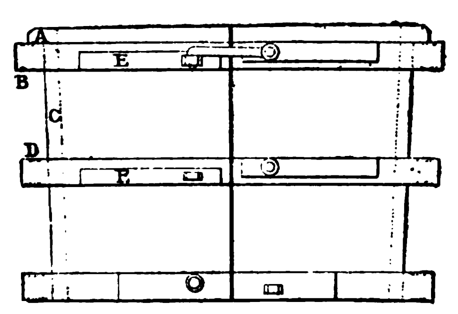


FIG. 87 *ter*. — Section transversale.

des quantités de terres préparées assez considérables sans qu'il en résulte d'inconvénients au point de vue de l'emploi de ces terres pour le moulage des creusets. Ces terres préparées, ainsi emmagasinées à la cave, sont montées aux ouvriers potiers au fur et à mesure des besoins.

Les creusets sont fabriqués avec ou sans formes, c'est-à-dire avec ou sans moules. Nous n'avons pas remarqué de différence entre les creusets moulés, et les creusets faits directement à la main. L'avantage des creusets moulés est de donner des capacités plus régulièrement semblables entre elles.

Lorsqu'on fait un creuset au moule, voici comment on opère (fig. 88) :

On commence par appliquer contre les parois du moule — lequel est formé de deux parties se rapprochant verticalement et s'assemblant à l'aide de crochets — des bandes de toile mouillée que l'on applique sur toutes les parois en évitant les solutions de continuité entre les toiles.

Cela fait on prépare des *pastons* ou morceaux de terre préparée, cette terre doit être la plus ferme possible.

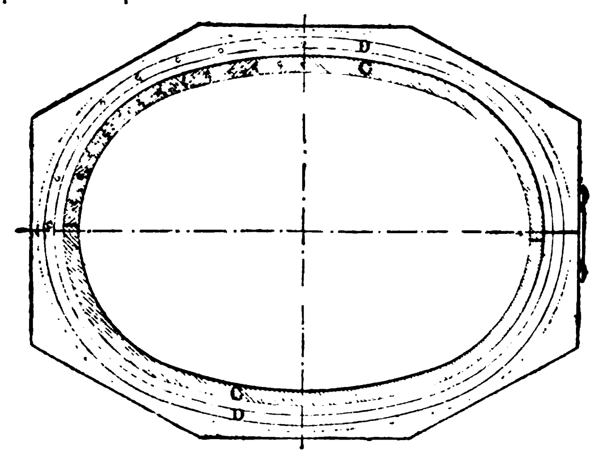


FIG. 87 *quater*. — Plan.

On place sur un support à quatre pieds, élevé de 0m,30 à 0m,40 du sol, un fon-

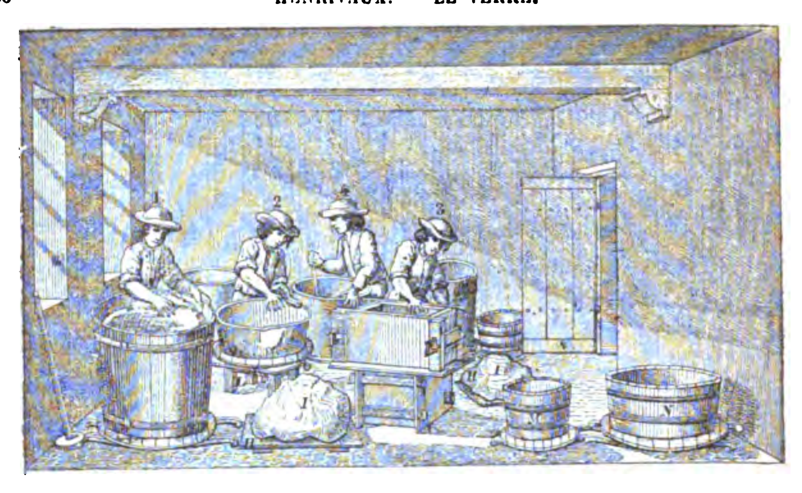


FIG. 88.

La figure 88 représente l'atelier des mouleurs, où l'on emploie la terre préparée dans l'atelier représenté par la planche précédente. On y voit plusieurs ouvriers occupés à mouler des creusets et des dalles réfractaires.

Fig. 1. Ouvrier fabriquant un pot dans le moule.
Fig. 2. Potier à la main.
Fig. 3. Ouvrier fabriquant une dalle en moule.
Fig. 4. Ouvrier rebattant le fond d'un pot.
HH, Plateaux servant à déposer la terre que l'on a à mouler.
II, Terre déposée sur les plateaux.
L, Escabeau servant à poser le fonceau, sur lequel on doit commencer un pot à la main, pour élever l'ouvrage à une hauteur commode à l'ouvrier.
M, Petite cuvette encore sur son fonceau.
N, Grande cuvette encore sur son fonceau.

ceau ou planches rainées réunies entre elles et présentant la forme en plan que devra présenter le creuset. Sur ce fonceau on place des *grainettes* ou grains de ciment en couche bien horizontale; cette couche a 1 1/2 à 2 centimètres d'épaisseur. On pose sur cette couche de ciment, une toile (semblable à la toile à tapisser sur laquelle on colle les papiers de tentures des appartements) ayant à peu près la forme du fonceau et le dépassant de quelques centimètres tout autour.

Le potier commence à appliquer sur cette toile quelques pastons de terre, pastons allongés qu'il soude entre eux en les aplatissant, les amincissant de façon à rendre ainsi très homogène la masse de terre qui augmente de surface et peu à peu d'épaisseur.

Afin d'obtenir un « fond » ayant $0^{m},15$ d'épaisseur, on jette avec force sur la première couche en contact avec la toile une série de petits morceaux de terre égaux entre eux. Le fond étant formé a une épaisseur plus forte que celle qu'il doit conserver; on apporte les deux parties du moule, on les réunit, et on en ferme ainsi le fond du creuset. L'ouvrier gratte alors ce fond, l'amincit, appliquant cette terre en excès contre les toiles mouillées garnissant les parois du moule, puis bat intérieurement ce fond, à l'aide d'une batte en verre, en marbre ou en bois; on fait de même contre les parois, appliquant alors sur les parois des couches successivement amincies et soudées les unes aux autres.

Quand la terre ainsi soudée est amenée à la partie supérieure du moule, on rebat encore les parois, on les lisse, avec un polissoir, raclette en bois terminée par une partie arrondie à son extrémité, puis à l'aide d'une éponge mouillée, et le lendemain, on enlève le moule, puis les toiles qui restent adhérentes aux parois du creuset. Au moyen d'outils spéciaux très simples, on fait un chanfrein au

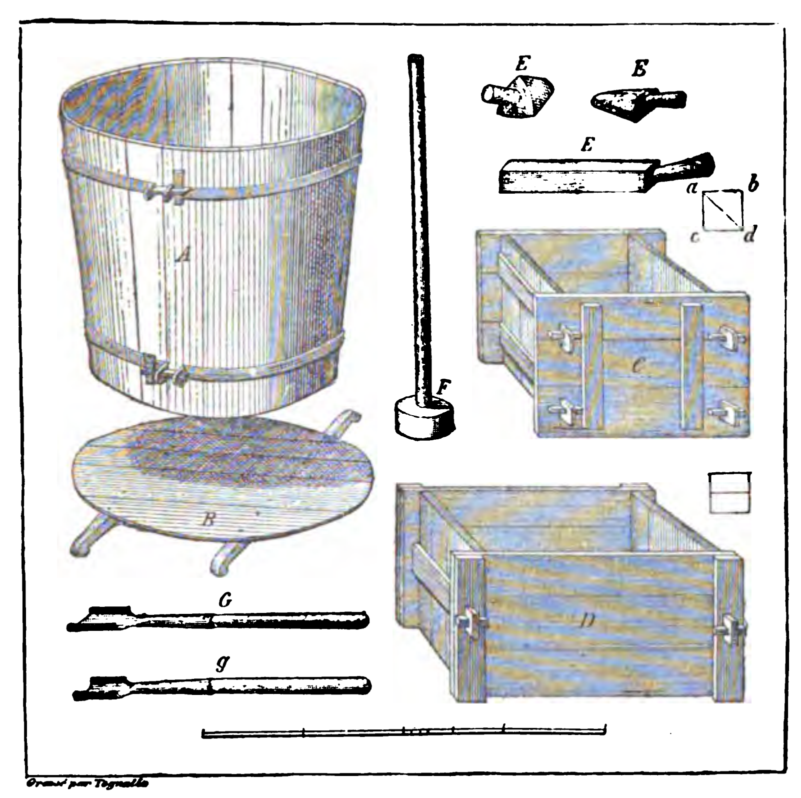


Fig. 89.

A Moule à pots.
B, Fonceau sur lequel on moule les pots.
C, Moule des petites dalles.
D, Moule des grandes dalles.
EEE, Battes de diverses grandeurs.
F, Batte pour le fond des pots.
G, Gouge plate.
g, Gouge ronde.

bas du creuset, une ceinture tout autour de ce creuset et vers le milieu de sa hauteur (ceci pour les creusets des glaceries), puis on recouvre les bords de petites toiles mouillées, afin d'empêcher une dessiccation trop rapide qui se produirait principalement sur les bords, l'eau étant appelée par capillarité. Au bout d'une quinzaine de jours on renverse les creusets sur le flanc afin de permettre une dessiccation régulière, uniforme, du creuset. Les creusets sont fabriqués à une température d'environ 18 degrés et *progressivement* on amène la tempéra-

ture des chambres où s'effectue la dessiccation à 30 et 35 degrés. Pour le chauffage des chambres à pots nous conseillons l'emploi des calorifères Perret.

FOYERS SYSTÈME MICHEL PERRET

Principe des foyers Michel Perret. — Les foyers de M. Michel Perret ont été étudiés en vue de l'utilisation, sans préparation aucune, des combustibles pulvérulents de qualité inférieure.

Leur point de départ est le foyer où M. Michel Perret réussit, en 1863, à obtenir la combustion régulière de la pyrite *menue* (bisulfure de fer), matière très pauvre au point de vue du calorique qu'elle peut produire par le grillage, et très difficile à brûler à cause de son extrême division et de sa densité (quadruple de celle du charbon).

Le résultat fut obtenu en étalant la pyrite en couche mince sur une dalle de matière réfractaire, au-dessus de laquelle était placée, à faible distance, une autre dalle également réfractaire. Cette dernière, faisant fonction de réflecteur, renvoie la chaleur développée sur la poussière en ignition dont elle entretient la haute température et sert en outre de support, par sa face supérieure, à une seconde couche de pyrite.

En superposant de la sorte six dalles, on obtient un ensemble de surfaces garnies de matières combustibles, qui s'échauffent successivement et progressivement les unes par les autres.

On donne d'ailleurs au travail une marche continue, en faisant descendre la pyrite d'étage en étage à des intervalles de temps réguliers, jusqu'à ce qu'elle arrive entièrement brûlée à la partie inférieure du four.

Ce foyer, dit *à étages multiples*, a pu, presque sans changement, être appliqué aux charbons les plus pauvres, même à ceux qui ne contiennent que 25 pour 100 d'éléments combustibles. C'est le foyer de calorifère représenté par les figures 1, 2 de la planche III.

Calorifère. — Le foyer est à six étages formés chacun d'une voûte en terre réfractaire, dont les arceaux sont d'une seule pièce. Quatres portes R (fig. 1) superposées servent au service qui consiste à faire passer successivement le combustible d'une dalle sur la dalle inférieure, au moyen d'un râble.

Cette opération est renouvelée, suivant les besoins, de une à quatre fois en vingt-quatre heures.

L'air est introduit constamment par des ouvertures *a* ménagées dans les portes; enfin un registre, placé à la sortie des gaz de la combustion, permet de régler la marche du foyer, dont la consommation peut varier entre 2 et 8 kilogrammes de combustible par heure et par mètre carré de la surface d'un étage.

Il résulte de ces chiffres que ce foyer est susceptible d'une certaine élasticité; mais il en résulte aussi que la combustion maxima qu'il comporte est faible par rapport à celle des grilles ordinaires.

L'emploi de ce genre de foyers est par suite limité aux applications qui

n'exigent pas une forte somme de chaleur dans un laps de temps restreint. Par contre, il convient dans les cas où l'on a besoin d'une grande régularité de température, comme dans les chauffages d'étuves, d'ateliers, d'habitations et de serres.

Dans le calorifère à air chaud représenté par les figures 1, 2, l'air froid monte derrière le foyer par un carneau de $0^m,700 \times 600$, suit la ligne indiquée par les flèches, lèche les tubes à fumée H, en tôle, placés sous la première tôle écran C D (fig. 1), retourne à l'extrémité de celle-ci pour revenir le long d'une seconde rangée de tubes à fumée I, entre les tôles écrans C D, E F, enfin vient s'accumuler à la partie supérieure dans une chambre où se font les prises d'air chaud pour le chauffage. Le type représenté est le type n° 4.

Surface chauffée. — On peut chauffer avec cet appareil un édifice contenant 1200 mètres cubes d'air environ. M. Michel Perret construit couramment d'autres appareils plus petits, pouvant chauffer des volumes d'air variables, à partir de 500 mètres cubes et au-dessus.

Il y a quelques années, M. Michel Perret a apporté des modifications importantes au foyer que nous venons de décrire. Ces premiers appareils présentaient en effet quelques inconvénients : notamment leur grande dimension, la main-d'œuvre pénible du chargement, l'odeur particulière produite à certains moments par suite du défaut d'étanchéité des appareils et en dernier lieu le prix élevé des installations.

Ces difficultés ont conduit M. Perret à créer, en 1887, un nouvel appareil dénommé *foyer à dalles perforées* qui, tout en conservant les avantages d'économie et de régularité de marche des anciens foyers, ne présente pas les inconvénients signalés plus haut.

Ce nouveau foyer (Pl. III *bis*), comme ceux à étages ou à prismes est caractérisé par une sorte de chambre réfractaire de forme cubique, à l'intérieur de laquelle trouvent disposées, avec un écartement soigneusement calculé, trois rangées de dalles réfractaires desservies par des portes placées à l'avant de l'appareil.

Les dalles des deux rangs supérieurs sont percées d'ouvertures en quinconce, disposées de manière à permettre au combustible de descendre presque naturellement d'un étage sur celui situé immédiatement au-dessous et de s'y placer en talus d'éboulement affectant la forme de cônes. Grâce à cette disposition, l'activité de la combustion est augmentée, ce qui a permis d'établir des appareils ne présentant que un quart de mètre de surface de combustion et pouvant néanmoins fonctionner de 12 à 24 heures sans renouvellement de combustible.

Les appareils ainsi établis présentent des avantages indiscutables sur les calorifères anciens ; ce sont :

1° Réduction du prix des appareils ;

2° La combustion ininterrompue de jour et de nuit, qui évite les pertes de chaleur dues au refroidissement pendant la nuit ;

3° Cette régularité dans la production de la chaleur est obtenue sans autres soins qu'un chargement de combustible dont l'effet se maintient 12 à 36 heures ;

4° Une manœuvre de chargement très courte et peu fatigante;

5° Une économie considérable, le combustible pouvant être des poussiers de houille, de coke, d'anthracite, et même des résidus de foyers industriels.

Jusqu'en ces dernières années, ces résidus étaient considérés comme absolument sans valeur, quoique leur teneur en carbone soit généralement assez élevée et ne descende que bien rarement au-dessous de 20 pour 100.

La plupart des usines qui emploient des gazogènes sont encombrées de résidus dont la composition moyenne est :

Pour les uns . .	Carbone . .	39 p. 100
	Cendres . .	61 —
Pour les autres.	Carbone . .	30 —
	Cendres . .	70 —

Les calorifères Perret permettent d'utiliser, en les brûlant seuls, les résidus à 39 pour 100 de carbone. La seule précaution à prendre est de les utiliser à l'état sec ou du moins avec une teneur en humidité ne dépassant pas 4 à 5 pour 100.

Quant aux résidus à 30 pour 100 de carbone, ils peuvent également être brûlés seuls, mais leur faible teneur en carbone ne permet pas d'obtenir une température élevée. Aussi pour en tirer parti les mélange-t-on avec des résidus plus riches. Pendant l'hiver et dans les cas où on a besoin d'obtenir une température élevée, on augmente la puissance calorifique en ajoutant un combustible menu riche en carbone, tel que poussier de coke, fines de houilles maigres.

On peut employer à cet usage un produit dénommé *terre houille*, qui est fourni par le charbonnage Noël Sart Culpart (Belgique). Ce produit, dont la composition est indiquée ci-après, donne d'excellents résultats, même pendant les froids les plus intenses.

	Analyse de la terre houille.
Principes volatils	14,13
Principes fixes	85,87
	100,00
Eau	3,58
Gaz	10,55
Cendres.	13,12
Carbone.	72,75
	100,00

Les creusets destinés à la fabrication du verre à vitres sont généralement ronds et de forme légèrement conique. Les creusets des glaceries sont légèrement ovales, afin de prendre moins de place dans les fours; ces creusets sont rangés les uns à côté des autres dans le sens de leur longueur et perpendiculairement à l'axe du siège sur lequel ils reposent. Il n'est pas indifférent de donner aux creusets une épaisseur quelconque; la hauteur doit être en rapport avec la longueur des outils de l'ouvrier verrier, ou avec la capacité que l'on doit obtenir; les petits creusets ont cependant proportionnellement une hauteur

plus grande que les grands creusets. La hauteur moyenne à donner aux creusets lors de leur construction varie entre $0^m,70$ et $0^m,80$, ce qui donne environ $0^m,65$ à $0^m,70$ de profondeur, $0^m,10$ d'épaisseur au fond, et une épaisseur proportionnelle pour les parois.

La capacité des creusets varie beaucoup suivant les pays ; en Bohême, les creusets sont très petits, en Allemagne également, moins cependant qu'en Bohême. En Belgique, depuis dix ans, on a augmenté énormément la capacité des creusets, et par conséquent leur épaisseur ; la hauteur n'a guère été modifiée. Quant à l'épaisseur des creusets, s'il y a intérêt à l'augmenter pour obtenir plus de solidité, plus de résistance au feu et à l'action corrosive des alcalis, il y a nécessité à ne pas dépasser certaines limites, la qualité du verre pourrait s'en ressentir, il en est de même pour la grosseur du ciment entrant dans la composition de la pâte réfractaire. Nous pensons qu'un creuset contenant 600 à 700 kilogrammes de verre présente une capacité très suffisante dans certains cas ; forcer cette capacité, c'est un acheminement vers le four à cuve, ou à creuset unique, et cette conséquence s'imposera, croyons-nous, aux fabricants de verre à bouteilles, comme aux fabricants de verre à vitres et de gobeletterie.

Dans la fabrication du cristal, les creusets sont recouverts d'un dôme, ils sont couverts et contiennent à l'intérieur un anneau en terre de même composition que le creuset, lequel est un flotteur nageant à la surface du cristal. A la cristallerie de Saint-Louis on fabrique le cristal dans des pots découverts semblables à ceux des verreries.

Les creusets, avant d'être introduits dans les fours de verreries, doivent avoir subi une dessiccation lente, progressive, variant de deux mois au minimum à huit ou neuf mois.

Afin d'éviter les variations de température dans les chambres de sechage des creusets, on place dans ces chambres des thermomètres dont on relève fréquemment les indications.

On peut avec avantage employer des appareils avertisseurs. Parmi eux nous signalerons le thermomètre électrique Barillé qui présente sur les appareils du même genre l'avantage de pouvoir servir d'avertisseur pour des températures quelconques déterminées à l'avance. Cette disposition le rend applicable dans les conditions les plus variables. Avec un appareil unique on peut suivre la marche de la dessiccation depuis le moment où les creusets viennent d'être fabriqués jusqu'à l'époque de leur dessiccation complète, quoique entre les deux périodes il soit nécessaire de faire varier la température entre 16 et 45-50 degrés.

L'appareil Barillé (fig. 90) est constitué par un thermomètre ordinaire à mercure dont la tige porte un renflement au-dessus de la graduation limite.

La gaîne métallique qui renferme l'appareil porte à la partie supérieure deux bornes B et B′ qui sont reliées aux pôles d'une pile.

Un fil métallique *ab* est soudé à ses deux extrémités dans le verre du renflement supérieur, son extrémité *a* est en communication métallique avec la borne B.

Un second fil *cd* se trouve à l'intérieur de la colonne thermométrique ; son

extrémité *c* enroulée en spirale autour du fil *ab* porte un index en acier *i*, lequel peut être amené en un point quelconque de *ab* à l'aide d'un aimant M, entraînant alors avec lui le fil *dc*. De cette façon on peut amener l'extrémité *d* en un point quelconque de l'échelle thermométrique.

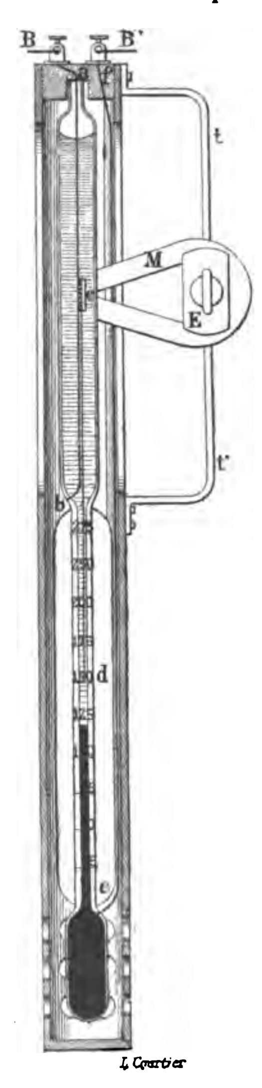


Fig. 90.

L'aimant M peut se déplacer le long d'une tige *tt'*; on le fixe à l'aide d'un écrou E.

Un troisième fil *ef* partant de la borne B', vient aboutir en *e* où il est soudé dans le réservoir du thermomètre.

Dès que la température correspondante à la position de l'extrémité *d* est

atteinte, le circuit B'*edca*B est fermé par le mercure et met en mouvement une sonnerie placée sur le parcours du courant.

Une fois secs, les creusets sont mis à l' « arche », four spécial contenant de 2 à 4 creusets, chauffés graduellement pour ne pas écorner les creusets. Ces arches doivent être chauffées avec prudence et par des ouvriers expérimentés; cette cuisson des creusets dure généralement de deux à trois jours, après quoi ils sont portés rouges dans le four de fusion et d'affinage.

Un verrier doit fabriquer également ses dalles, ses briques, en un mot tous ses matériaux réfractaires. Ces matériaux sont moulés, et pour cela on emploie divers moules ou cadres en bois tels que la figure ci-contre les représente (fig. 91). Cette figure représente des cadres déjà anciens, mais auxquels il n'y a rien à changer pour la fabrication actuelle. Les briques et dalles une fois moulées sont rebattues — et pour cela on emploie des presses spéciales, comme les presses Brethon par exemple, — séchées et cuites dans l'usine même.

La poterie d'une verrerie doit être bien groupée, de façon à éviter des manutentions inutiles et coûteuses. Voici un dessin de poterie, représentant une des combinaisons que l'on peut adopter.

Dans cette disposition, le bâtiment destiné à la fabrication des produits réfractaires d'une glacerie ou d'une verrerie, est composé de trois étages et d'un sous-sol (pl. IV et V).

Au sous-sol se trouvent les magasins à terres, chauffés, comme les autres étages du reste, par des calorifères système Perret.

Au rez-de-chaussée se trouvent placés les broyeurs, les mélangeurs, les malaxeurs, laminoirs, l'épluchage des terres, la presse à comprimer les terres pour briques ou pièces spéciales, puis le four à cuire ces produits. Des monte-charges amènent les terres du sous-sol au rez-de-chaussée, y redescendent les terres préparées et destinées au pourrissage ou montent aux étages supérieurs ces mêmes terres destinées à la fabrication des creusets, des briques, dalles réfractaires, etc.

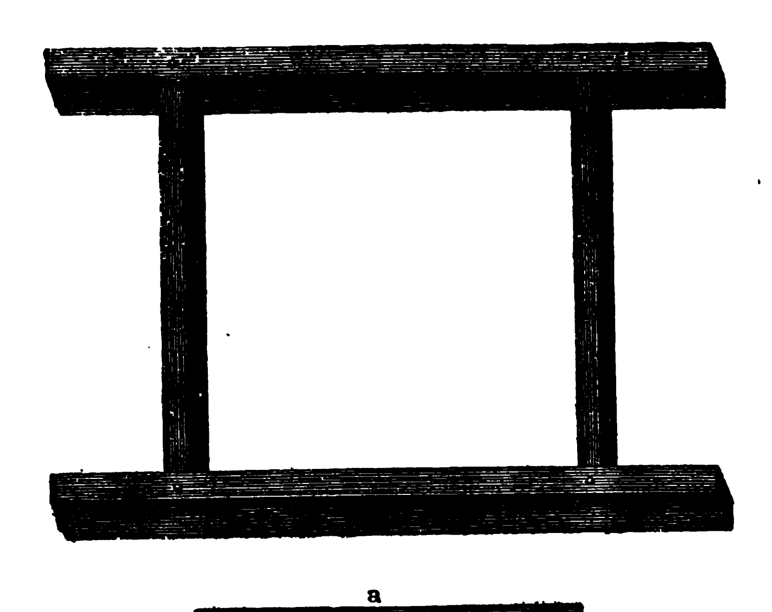
Au premier étage se trouve la chambre de fabrication des creusets, « la poterie » proprement dite. Afin de ménager la place dont on dispose, afin de hâter la dessiccation des creusets, nous avons adopté ici une disposition particulière.

En B et en C se tiennent deux potiers, lesquels montent leurs pots toujours au même endroit. Ces creusets reposent sur des fonceaux, lesquels sont placés sur de petits chariots à quatre roues qui circulent sur des voies ferrées (voies Decauville). Chaque jour un potier fait un creuset; et en TT' des treuils amènent vers l'extrémité de la chambre, opposée à celle où se tiennent les potiers, les chariots et leurs creusets, de telle sorte que chaque jour les chariots avancent vers l'extrémité de la chambre de la longueur d'un chariot, de façon à donner place à un chariot nouveau et vide à l'ouvrier potier. En un mot, à chaque creuset fabriqué en B et en C, correspondent en T et T' d'autres creusets sortant secs et prêts à être placés au four, le tout en un espace de six semaines environ.

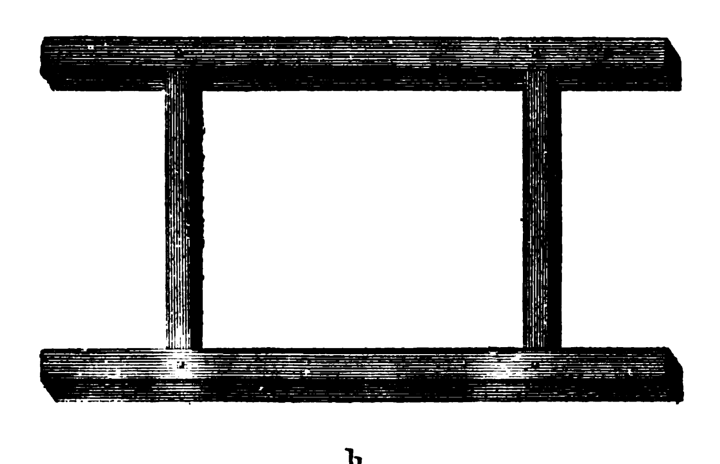
Dans l'axe de cette grande pièce du premier étage, se trouve une chambre chaude, dont les parois (en briques creuses) sont doublées à leur dernière extrémité; la température de cette chambre est portée à 50 degrés afin de

MOULES A BRIQUES ET A DALLES POUR LA CONSTRUCTION DES FOURS

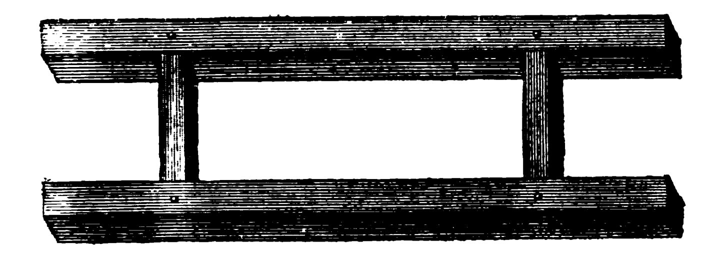
FIG. 91.

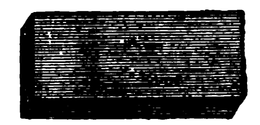


1. — Châssis pour les grandes briques du four. — *a*, épaisseur et largeur de la brique.



2. — Châssis pour les briques de l'œil du tisard. — *b*, proportion et mesure de la brique.

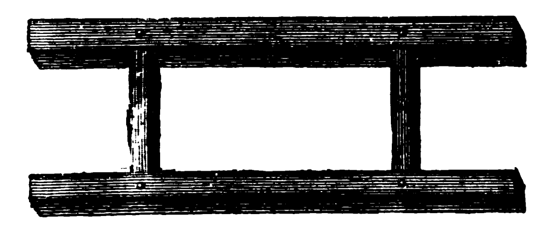


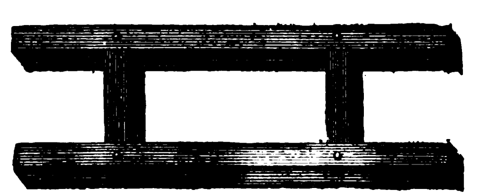


8. — Brique rouge pour le massif.



3. — **Châssis pour les briques des piliers de la couronne. — *c*, proportion de la brique.**



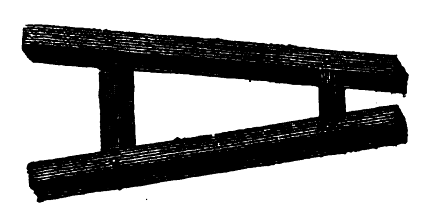




4. — **Autre châssis pour les briques des piliers de la couronne. — *d*, proportion de la brique.**

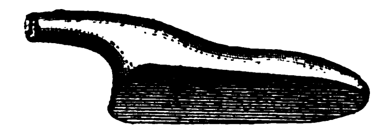


5. — **Châssis pour les briques de la couronne ou voûte. — *e*, proportion de la brique.**

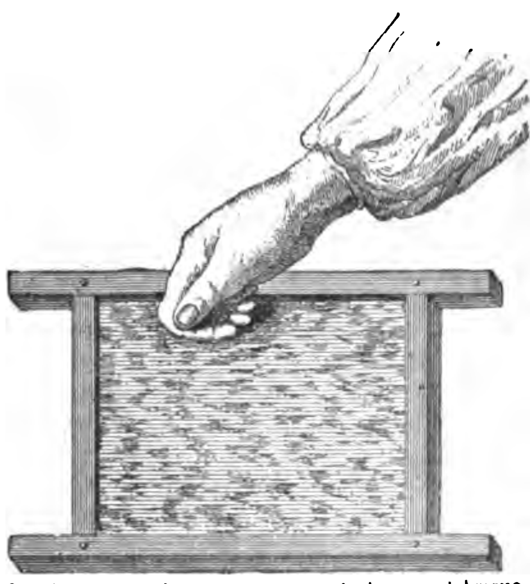




6. — **Châssis pour les briques en claveaux de la couronne. — *f*, proportion des briques.**



7. — **Batte de bois pour frapper la terre.**



9. — **Maçon emplissant un petit moule de terre à brique.**

terminer la dessiccation des creusets, dessiccation commencée et poussée activement dans la chambre formant enveloppe extérieure à cette chambre chaude. Les creusets sortant de la chambre chaude peuvent être portés aux halles directement. La température est obtenue assez régulièrement graduée à l'aide de gaines ou conduits amenant l'air chaud des calorifères placés au rez-de-chaussée ou dans le sous-sol. Les sections de ces gaines, leurs dispositions par rapport aux creusets et aux parois des chambres et des creusets, sont calculées de façon à éviter toutes chances d'accidents pour cette dessiccation des creusets, et pour éviter des inégalités de températures suivant la température extérieure. La disposition de ces gaines et les hachures que nous leur avons données, indiquent suffisamment la manière dont la température est répartie. En *rr*, *rr*, *rr*, nous avons disposé des rideaux fixés sur tringles mobiles pour le passage des creusets et des chariots, qui permettent de diviser encore la capacité de la chambre afin de faciliter les inégalités de température que l'on veut obtenir dans les différentes parties de cet étage.

Nous avons ménagé également des canaux d'évacuation de l'air chaud en excès, de même pour l'élimination de la vapeur d'eau ou air humide provenant de la dessiccation des creusets. Nous avons préféré adopter le calorifère modèle n° 4 afin d'obtenir une meilleure division de la chaleur en multipliant le nombre des foyers.

Les étages supérieurs, réservés à la fabrication de dalles réfractaires, puis des briques, sont chauffés par le même procédé.

Des monte-charges permettent de monter ou de descendre à volonté les terres de moulage ou les produits fabriqués.

Pour la cuisson des dalles et briques réfractaires d'une verrerie il est nécessaire d'obtenir une température élevée, il faut être aussi certain que possible de la qualité des produits que l'on emploie pour les diverses constructions des fours, c'est à cause de l'importance du sujet que nous insistons de nouveau sur ce point.

Les combustibles que l'on emploie dans les fours à cuire les dalles et briques, sont le bois, la tourbe, la houille, le coke. Les fours doivent être construits en matériaux mauvais conducteurs de la chaleur, pour empêcher la déperdition de leur chaleur intérieure, et assez réfractaires pour résister à l'action répétée du feu. Les systèmes de fours sont très nombreux et très variés ; ils peuvent cependant être classés en fours intermittents et fours continus.

Les fours intermittents sont ceux dans lesquels la marche de l'appareil est arrêtée après la cuisson pour attendre le refroidissement complet de la masse, avant de pouvoir recommencer une nouvelle opération.

Ils comprennent des fours découverts et des fours couverts. Les fours découverts sont les seuls à étudier ici ; ils peuvent être rectangulaires ou circulaires. Les fours rectangulaires ont un foyer, quelquefois plusieurs, disposés suivant l'axe du four; le feu est allumé sur une grille placée au-dessous des briques à cuire, et les gaz chauds montent à travers celles-ci. Ces fours prennent moins de place dans les ateliers, fournissent plus de facilités pour les enfournements, sont d'un prix de construction moins élevé que les fours ronds, mais il est plus difficile d'y obtenir une cuisson régulière, uniforme, et présentent moins de solidité.

Dans ces fours, au-dessus des foyers, et dans la *sole*, on ménage un certain nombre d'ouvertures ou carneaux amenant les flammes des foyers. La voûte supérieure est percée d'ouvertures pour le départ des produits de la combustion ; ces ouvertures communiquent avec la cheminée de tirage, et doivent, ainsi que ceux de la sole, être répartis de manière à produire la cuisson la plus égale. Il est préférable d'établir une cheminée spéciale à chacun de ces fours ; de cette façon on règle le tirage à volonté suivant le degré de cuisson, ou le temps de chauffage du four ; on peut aussi produire, au moment du refroidissement du four, un appel d'air froid extérieur à l'aide de cette cheminée.

Les briques ou dalles doivent être enfournées avec méthode, les plus grosses pièces dans le bas, et disposées de façon à être rencontrées sur toutes les faces par la flamme, c'est-à-dire qu'elles ne se toucheront que par leurs parties inférieures et supérieures. Les rangs seront croisés, de façon à *chicaner* la flamme et à éviter qu'elle monte directement à la cheminée d'appel, cela afin de lui faire produire le maximum d'effet utile.

La cuisson comprend deux périodes : la première pendant laquelle il s'agit de chasser toute l'humidité que contiennent les briques, c'est la période de *petit feu* ou d'*enfumage ;* la deuxième pendant laquelle, sans crainte de faire éclater les briques on les porte à la température nécessaire pour les cuire, c'est la période du *grand feu*. Des divers combustibles employés pour le chauffage, la houille est celui généralement employé ; ce combustible occasionne dans le chauffage des coups de feu et expose à brûler le bas des fours sans bien cuire le haut. Il faut rechercher les houilles à longue flamme, qui permettent le mieux de régler la température du four. Voici un four de forme rectangulaire surmonté d'une voûte demi-cylindrique qui est assez employé. La cheminée est au centre. A chaque angle se trouve une petite cheminée qui permet de diriger le feu dans ses parties et même de le concentrer dans les parties ayant le plus besoin de chaleur.

Voici un four avec grille sous les briques (fig. 92, 93, 94, 95), et départ dans une cheminée commune à plusieurs fours. Dans les fours ronds, les foyers sont répartis au nombre de 4, 6 ou 8, autour des produits à cuire, de sorte qu'il est plus facile de cuire également. Mais dans ces fours, une même cause fait perdre une grande partie de la chaleur produite ; c'est la température des gaz produits de la combustion sortant par la cheminée d'appel. De plus, au moment des charges de combustible sur les grilles des foyers, le four étant porté à la température rouge, les produits de la distillation de la houille se décomposent en gaz combustibles et en carbone, qui forme une fumée noire très épaisse et qui est perdu comme combustible ; d'autre part, la chaleur renfermée dans les produits cuits est complètement sans emploi.

La solution à opposer à cette objection c'est l'emploi des fours continus, le four de MM. Hoffmann et Licht, par exemple, qui donne d'excellents résultats.

Les dimensions d'un four ne peuvent guère être moindres de 15 mètres cubes et ne doivent pas dépasser 50. On peut admettre que pour un mille de briques ordinaires ($0^m,22 \times 0^m,11 \times 0^m,06$), et suivant la qualité de la terre, on brûle de 200 à 250 kilogrammes de houille, soit 100 à 120 kilogrammes de houille par mètre cube de four.

D'après M. P. Bonneville (1), la quantité de charbon brûlée par heure dans un four, est toujours moindre que :

$$\frac{10 \times V}{3} = Q.$$

q, quantité de charbon en kilogrammes;
v, volume du four en mètres cubes.

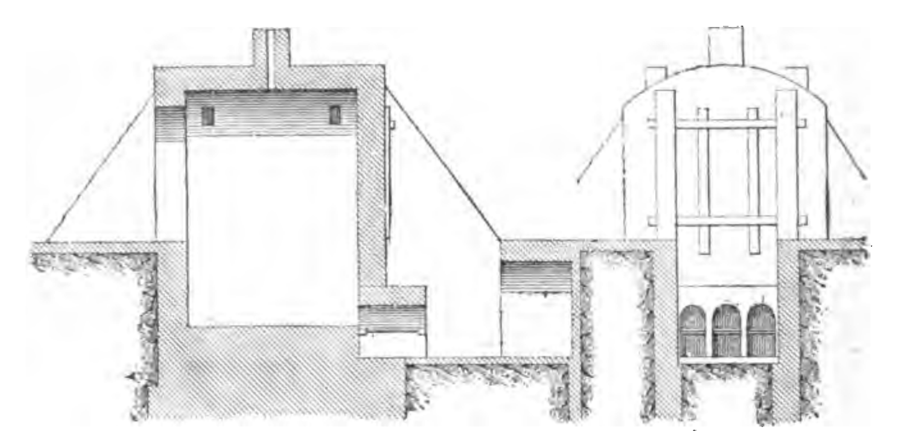


Fig. 92. Fig. 93.

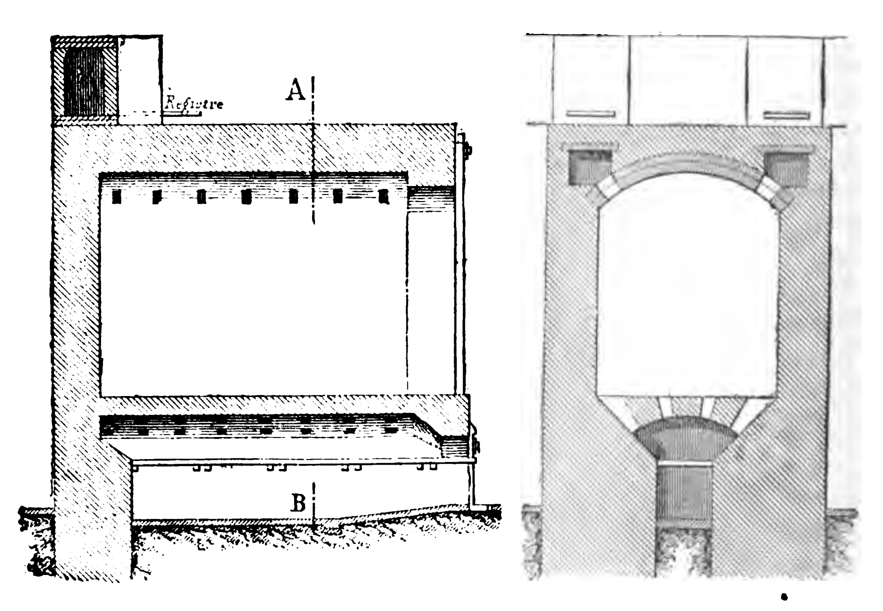


Fig. 94. Fig. 95.

(1) *Fabrication des briques et des tuiles et produits céramiques*, par MM. Bonneville, A. Jaunez, chez Lacroix, éditeur.

C'est sur cette quantité qu'il faut se baser pour calculer la grille, afin qu'elle ait toujours une surface plus grande qu'il n'est strictement nécessaire, pour parer à toutes les exigences de la cuisson.

Les grilles peuvent être faites petites ou grandes, nous préférons les grandes grilles dont on calcule la surface de chauffe en supposant une consommation de $0^k,30$ à $0^k,35$ de charbon par décimètre carré et par heure. Pour un service journalier, pratique, la grille doit être de $0^m,60$ à $0^m,70$ au-dessus du sol sur lequel est placé le chauffeur ; le conduit aura $0^m,50$ à $0^m,60$ de large ; la distance de la grille à la voûte du foyer sera de $0^m,60$ à $0^m,80$, cette voûte doit être construite solidement, mais sera aussi mince que possible. Il faut que la cheminée ait une section très grande, car elle sert non seulement à évacuer les produits de la combustion, mais encore la vapeur d'eau, etc., qui se dégagent des pièces pendant la cuisson. Les carneaux d'échappement auront une section égale à celle de la cheminée.

Fours continus. — Le four Hoffmann pour la cuisson de la brique est un type complet de four continu. Il est essentiellement composé d'une série de chambres disposées autour d'une cheminée et pouvant chacune, à l'aide de portes ou de registres, communiquer, soit avec les chambres voisines, soit avec la cheminée d'appel, soit enfin avec l'air extérieur. Tandis que les briques sèchent, cuisent et refroidissent dans toutes les chambres, sauf dans deux de ces chambres, on enfourne dans une des deux autres et l'on défourne dans la dernière.

La figure 96 représente le plan de la coupe d'un four Hoffmann à 16 compartiments C_1, C_2, C_3, C_4 ..... C_{16}. Chacun d'eux est compris entre deux registres mobiles a_1, a_2, a_3, a_4 ... que l'on peut introduire par les portes voisines.

Chaque chambre communique avec l'extérieur par les portes A_1, A_2, A_3, A_4 ... qui servent à la fois au défournement ou à l'enfournement et à l'entrée de l'air. Les registres r_1, r_2, r_3, r_4 ... avec les regards supérieurs r'_1, r'_2, r'_3, r'_4 ... servent à établir la communication entre la dernière chambre où l'on a enfourné et la cheminée d'appel. Enfin p, p, p, p ... sont des puits par lesquels on introduit d'en haut, dans des cheminées — ou vides — laissée pendant l'enfournement au milieu des briques, le combustible nécessaire à la combustion.

La figure A' représente le registre a_1 mis en place ; dans ces conditions on enfourne dans la chambre C_1 et on défourne en C_2 où les briques sont entièrement refroidies. Les portes correspondantes A_1 et A_2 sont donc ouvertes, ainsi que A_3, toutes les autres sont fermées ; le registre 2_{16} est ouvert. Dans ces conditions, l'air entré par A_1, A_2 et A_3 et appelé vers la cheminée, passe en C_3, C_4 sur les briques cuites, et les refroidit en s'échauffant aux dépens de leur chaleur et arrive chaud en C_1, où l'on introduit de cinq en cinq minutes du charbon par les ouvertures p, p.

Les produits de la combustion, avant de s'échapper dans la cheminée, échauffent en C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16} les briques crues.

Lorsque l'on a terminé l'enfournement en C_1 et le défournement en C_2, les briques de C_3 qui ont été exposées directement à l'air froid peuvent être défournées et la capacité des chambres doit être telle qu'en C_{11} les briques soient cuites.

Alors on ferme A_1, on reporte le registre en a_2, on ouvre r_1 et on ferme r_{16}, on allume le feu en C_{10} et l'on ouvre A_4, puis on défournera en C_3 tandis que l'on enfournera en C_2. — Pendant l'enfournement on laissera des vides pour le combustible et pour le passage de l'air. On disposera les briques de façon à conduire vers la circonférence l'air chaud attiré au centre par la cheminée.

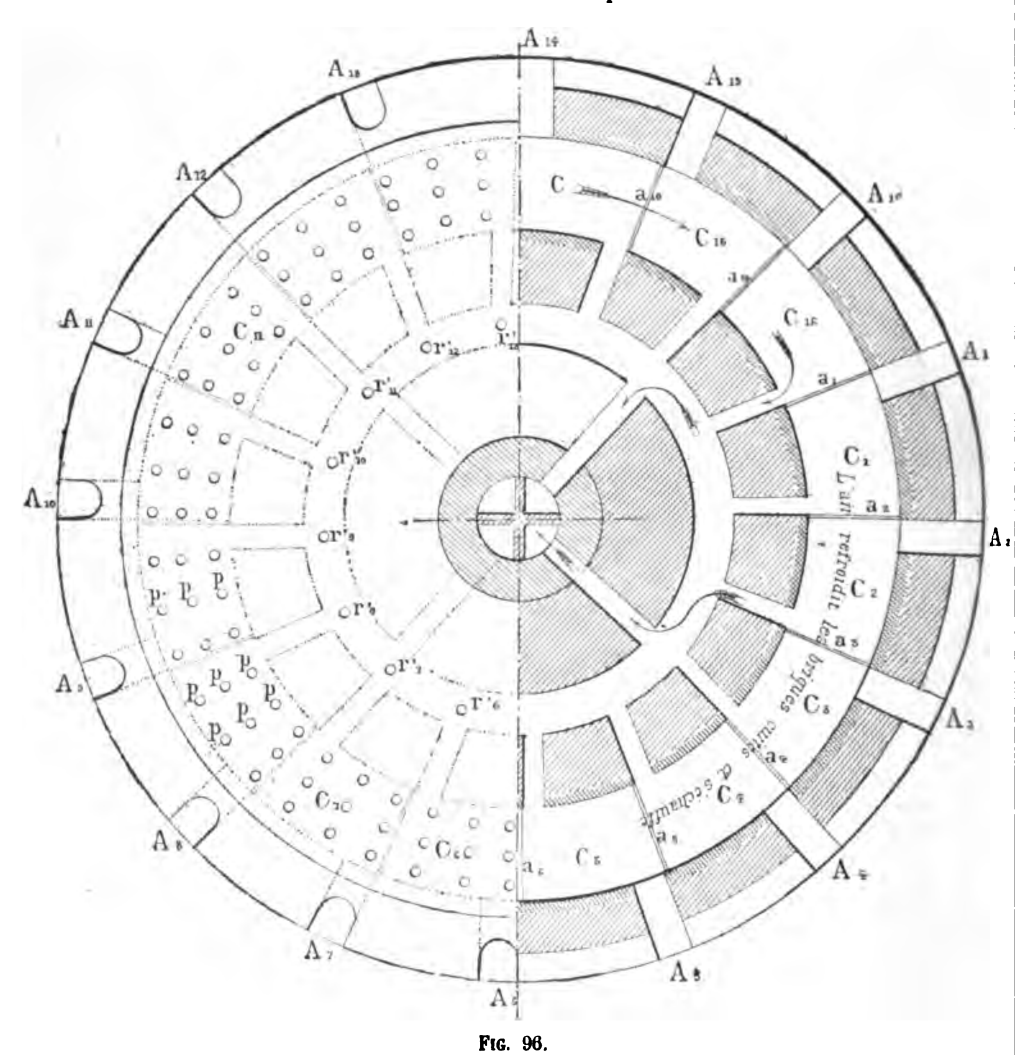


FIG. 96.

A_1. — Enfournement et entrée d'air. A_2. — Défournement et entrée d'air. A_3 — Entrée d'air.

On continue ainsi de telle sorte que le feu va toujours au-devant des briques crues qui se sèchent et s'échauffent et l'air extérieur au-devant des briques cuites qu'il refroidit.

On obtient ainsi un travail méthodique et continu ; on consomme environ 180 à 200 kilogrammes de charbon par mille briques.

Ce four n'ayant pas de grilles, on peut lui reprocher de nécessiter l'emploi de

charbon de bonne qualité. Le mélange du combustible et des produits à cuire limite son emploi à la cuisson de la brique. Pour des produits plus soignés, plus délicats, tels que les tuiles, divers constructeurs ont modifié ce four.

Le système qui se rapproche le plus du four Hoffmann est le four de MM. Muller et Fichet (fig. 97), disposé autour d'une cheminée centrale, mais dans lequel le chauffage a lieu par le gaz afin de permettre de conduire plus facilement la combustion et d'utiliser du charbon de moindre qualité. Les essais n'ont pas été satisfaisants à cause des engorgements des carneaux produits en partie par la condensation des hydrocarbures.

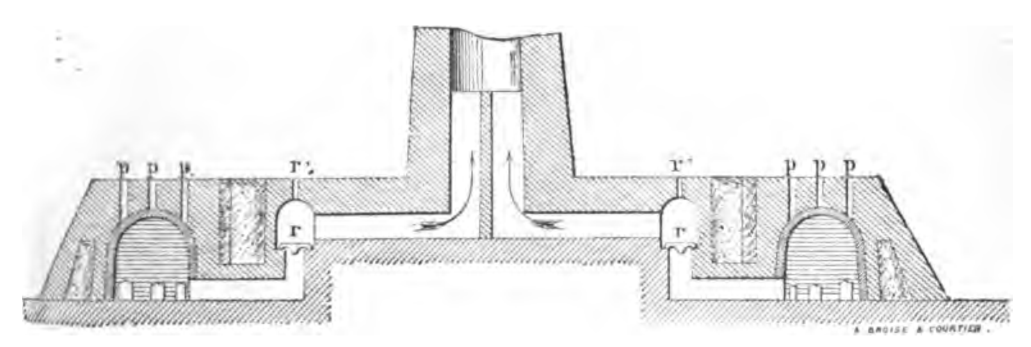


Fig. 97.

Four Sturm. — Pour les produits ordinaires et relativement bon marché, nécessitant peu de soins, M. Sturm construit des fours chauffés par le haut, fours dont la forme et les dimensions sont appropriées à chaque cas particulier; mais pour les produits de choix M. Sturm préfère le chauffage par le bas, au moyen de foyers disposés à cet effet sous la sole du four.

Le chauffage par le haut, qui consiste à jeter le combustible au milieu des matériaux à cuire, a, entre autres inconvénients, celui de tacher les produits qui se trouvent ainsi en son contact et produisent souvent des collages, ce qui est un grave inconvénient.

Dans les fours chauffés par le haut, la chaleur entraînée par l'air qui traverse les matériaux en refroidissement est utilisée pour brûler le combustible; mais il est souvent préférable d'envoyer cette chaleur dans les bâtiments et séchoirs disposés afin de hâter la dessication des produits. En effet, quand on a un four continu, il faut l'alimenter régulièrement, ce qui est surtout difficile à réaliser pendant la mauvaise saison, à moins d'avoir une quantité considérable de séchoirs; considérant, d'autre part, que les matériaux sont le plus demandés au printemps et que précisément c'est à cette époque que les fabricants en sont pour ainsi dire dépourvus, parce que, en général, leurs séchoirs sont peu ou point chauffés.

Les ateliers de fabrication doivent également être disposés de manière à profiter un peu de cette énorme quantité de chaleur qui sort des compartiments en refroidissement.

En 1878, à Montereau, où il existe une installation complète avec four con-

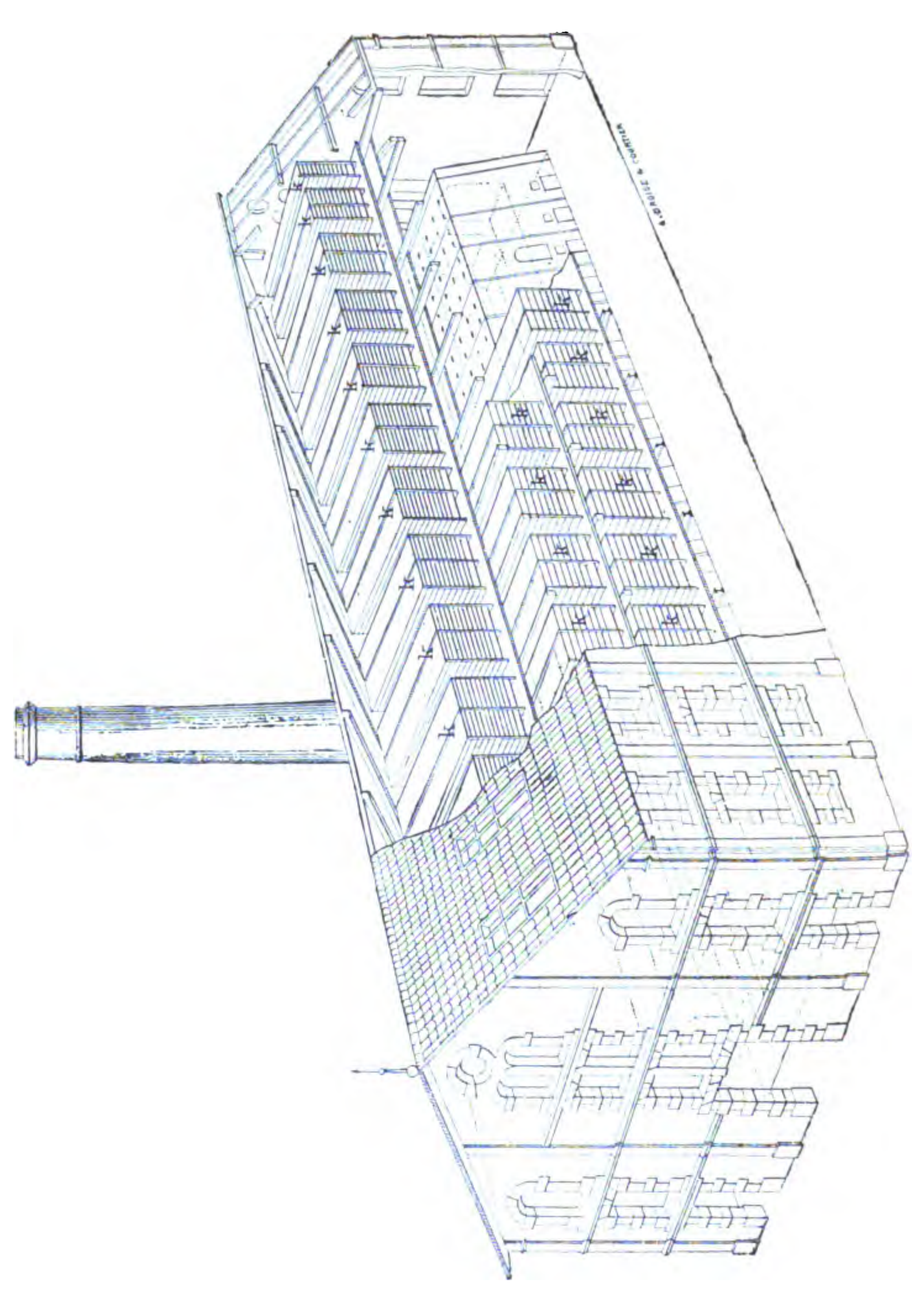


FIG. 98. — Installation des fours et des séchoirs de la fabrique de produits réfractaires de Cinq-Mars-la-Pile, construits par M. Sturm. (Échelle 1/200.)

Légende des figures **98, 99, 100, 101.**

aa, nervures servant à appliquer les écrans qui limitent la zone du tirage du four; *b*, portes d'enfournement; *c*, passage des flammes venant des foyers pour se répandre dans les galeries; *d*, cendriers; *eee*, regards pouvant servir de trous de chauffe dans le cas où l'on veut chauffer par le haut; *f*, registres pour régler le tirage; *g*, collecteurs de fumée; *h*, départs de fumée des galeries; *i*, conduit de fumée allant rejoindre la cheminée verticale; *j*, communications entre les deux galeries du four; *k*, rayons des séchoirs ou perchés.

tinu et séchoir dans le même bâtiment, les ouvriers travaillant bien et régulièrement tout l'hiver, quelle que soit la température extérieure, et par 15 degrés centigrades de froid, on a constaté dans les séchoirs une température de 40 de-

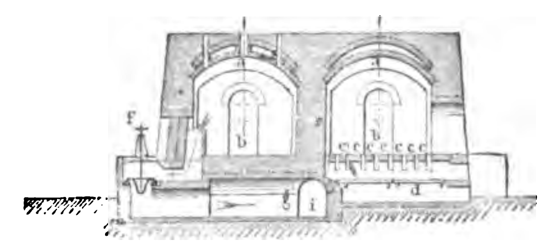


FIG. 99. — Coupe C D E F G H.

grés. Dans un bâtiment voisin, attenant à celui du four, et communiquant avec lui par quelques ouvertures, la température était de 28 degrés ; on pourrait donc encore y sécher d'une manière convenable ; mais on ne l'utilise pas, parce que

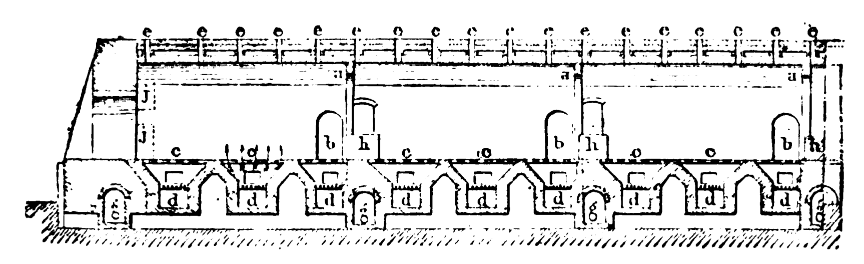


FIG. 100. — Coupe A B.

les séchoirs établis au-dessus du four suffisent généralement pour l'alimenter. Dans ces conditions, les briques réfractaires séchaient en cinq jours, sans donner lieu au moindre déchet.

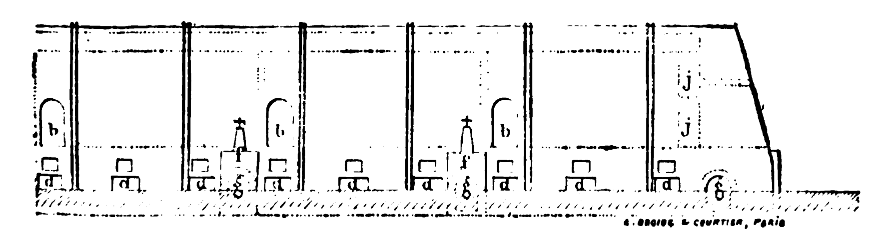


FIG. 100 *bis*. — Élévation.

A Vaugirard, un four continu, système Sturm, ayant 2m,50 de largeur, 30 mètres de longueur et 3m,25 de hauteur intérieure, cuit par mois huit cent à huit cent cinquant mille briques (façon Vaugirard). On y brûle par mille briques 1 hectolitre 1/2 de « grésillon » coûtant 1 fr. 50 l'hectolitre. Les briques de Vaugirard contiennent un peu de poussier de coke ou résidus des foyers de fours à réchauffer des forges de la Villette.

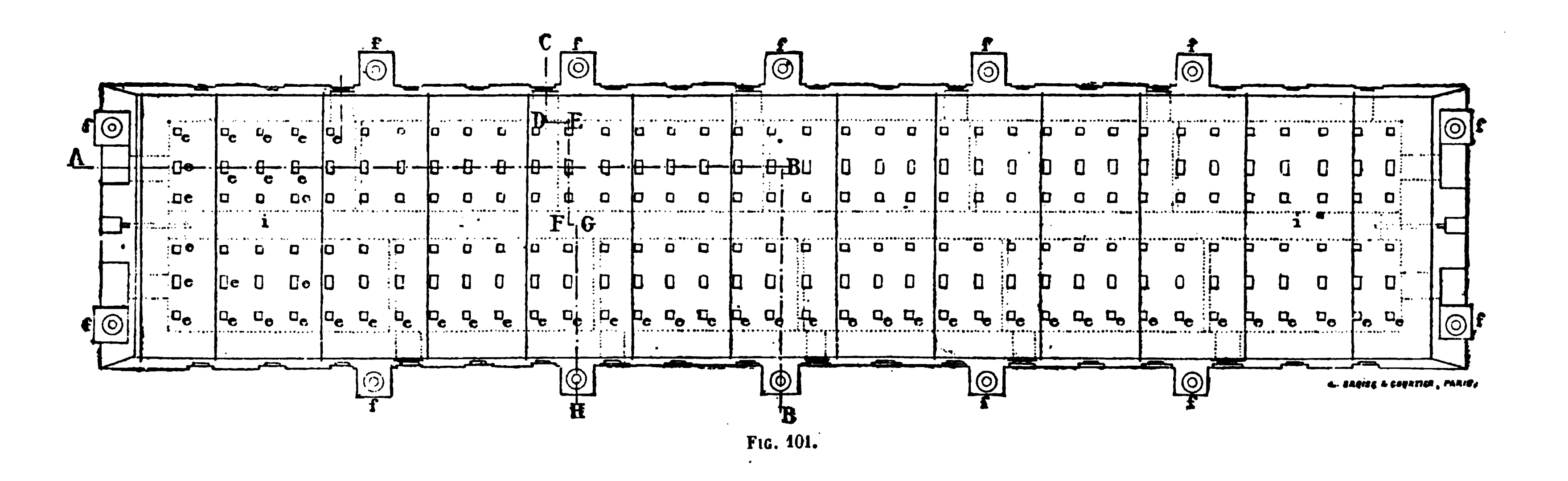


Fig. 101.

La figure 98 donne idée de la disposition générale de l'ensemble du four et des séchoirs dans le bâtiment.

Les figures 99, 100, 100 *bis*, 101, représentent sommairement le four exécuté à l'usine de la Société anonyme des produits réfractaires de Cinq-Mars-la-Pile (Indre-et-Loire).

Ce four se compose de deux galeries de 2^m,85 de largeur intérieure, 2^m,30 de hauteur intérieure et 36 mètres de longueur, communiquant entre elles aux deux extrémités par deux ouvertures ménagées dans la cloison de séparation et munies de registres.

Chacune des galeries est subdivisée en six compartiments, soit douze en tout, que l'on peut isoler en introduisant par les portes d'enfournement un écran en tôle ou en bois que l'on applique contre des nervures *a* ménagées à cet effet dans la maçonnerie des galeries.

Le chauffage se pratique par des foyers disposés sous la sole et placés à une distance de 2 mètres d'axe en axe l'un de l'autre. La flamme de ces foyers passe par des ouvertures pratiquées dans la sole du four, pour se rendre dans la galerie. Le tirage se fait par des ouvertures *b* munies de registres à cloches et à bains de sable fermant hermétiquement, et placées en dehors du massif du four, contre sa façade extérieure, de façon à rendre leur visite facile, même pendant la marche.

Au lieu de faire des maçonneries très épaisses, on a trouvé préférable de mettre des armatures en fer, reliées d'un côté à l'autre du four par des boulons ou tirants : cette disposition ménage énormément la place et donne au massif une grande solidité.

A la partie supérieure du four et traversant les voûtes des galeries, on a ménagé des ouvertures, comme dans le cas du chauffage par le haut ; la plupart de ces ouvertures servent de regards. Étant donnée cette disposition, le même four peut servir à deux usages.

Quoique ces produits ne cuisent qu'à une très haute température, j'estime que la consommation de charbon ne dépasse pas 250 à 260 kilogrammes par mille de briques.

On reproche souvent aux fours chauffés par des grilles l'inconvénient de brûler un peu plus de combustible que ceux chauffés par le haut, mais cette différence dans la consommation est très minime, et elle est plus que compensée par la régularité qu'on obtient dans la cuisson et la couleur des produits ; de plus le déchet est nul dans ces fours. En outre, on est absolument maître de la conduite du feu ; on n'a pas, comme dans les fours chauffés par le haut, cette énorme quantité d'air qui contrarie la marche du feu, et augmente dans une proportion très notable le volume des gaz à emporter par le tirage de la cheminée.

En résumé, nous pouvons faire les distinctions principales suivantes entre les différents fours continus :

1° Les fours chauffés par le haut, à moyenne température, cuisent les produits communs non délicats et bon marché ;

2° Les fours chauffés par le bas à haute température cuisent les produits de choix et les produits réfractaires.

Les seconds ont en outre l'avantage de permettre une installation rationnelle et permettent une fabrication réellement continue, l'été comme l'hiver. De plus on est absolument maître, et de la conduite du feu, et de la température à obtenir dans le four.

Briques de silice. — Les voûtes des fours de verrerie chauffés par le gaz sont formées de briques et de matériaux de silice. Ces pièces réfractaires sont formées de 98 à 99 pour 100 de silice, 1 à 2 pour 100 de chaux et contiennent des traces de fer, et quelque fois de cuivre. Le choix de ces briques de silice, de fabrication anglaise pour la plupart (1), est excessivement important pour la construction d'un four à gaz. C'est W. Weston Young qui inventa cette fabrication vers 1818 ; dès cette époque on employait ces briques, à titre d'essai, dans certaines parties des hauts fourneaux.

La matière première que l'on trouve à Dinas (rocher de la vallée de Neath), est presque du silex pur, elle se trouve à l'état de roche ou à l'état de sable ; sèche, elle est de couleur gris clair ; par l'exposition à l'air la roche dure se désagrège un peu, mais il reste des parties tellement résistantes, qu'on ne peut les employer.

On mélange la roche en poudre, dont voici la composition moyenne :

Silice	98,31
Alumine	0,72
Protoxyde de fer	0,18
Chaux	0,22
Potasse et soude	0,14
Eau de combinaison	0,35
	99,92

avec 1 pour 100 de chaux et assez d'eau pour qu'elle puisse légèrement s'agglutiner par la pression. On comprime le mélange dans des moules en fer, fixés deux à deux sous une même presse. Le moule ouvert par le haut comme par le bas, à la manière des moules à briques ordinaires, est fermé au-dessous par une plaque de fer mobile, et au-dessus par une autre plaque de fer, qui entre comme un piston dans le moule et est mue par un levier. La machine ajustée, l'ouvrier place le mélange grossier dans ces moules ; il a des gants épais pour protéger ses mains contre les éclats de la roche ; il abaisse le piston et enlève la plaque inférieure sur laquelle se trouve la brique, car elle n'est pas assez solide pour pouvoir être portée à la main.

On sèche ces briques sur les plateaux, lentement, puis on les empile dans un four circulaire, semblable aux fours à briques ordinaires. Il faut environ sept jours d'un feu vif pour cuire ces briques et autant pour les refroidir.

La surface de cassure d'une de ces briques offre des particules irrégulières de quartz blanc, entourées d'une petite quantité de matière aune, légèrement brune. La chaux joue le rôle de flux à la surface des fragments de quartz, et détermine leur agglomération. Ces briques se dilatent un peu par la chaleur.

(1) Depuis quelques années on fabrique en Allemagne et en Belgique des briques de silice. En France, M. Muller fabrique également des briques dont la qualité est même supérieure à celle des produits allemands ou belges.

D'après leur composition il est évident qu'on ne doit pas les exposer à l'action des scories riches en oxydes métalliques, ni au contact des alcalis.

Il est nécessaire en résumé pour obtenir de bonnes briques de silice, de réunir les conditions suivantes :

1° Une roche spéciale ;

2° Une pression suffisante pour obtenir l'agglomération voulue ;

3° Une température élevée et suffisamment prolongée pour la cuisson ;

4° Ajouter au mélange de roche spéciale et d'eau le moins de chaux possible, afin de faciliter l'agglutination sans donner lieu à des silicates fusibles ;

5° Conserver les briques à l'abri de l'humidité qui détruit leur cohésion.

LIVRE CINQUIÈME

CHAPITRE PREMIER

LES FOURS DE FUSION EN VERRERIE

Généralités. — Nous n'avons pas à faire l'historique des différents systèmes de fours employés pour la fusion des matières vitrifiables; les plus anciens auteurs qui ont écrit sur le verre ne nous ont laissé que des indications très vagues, très imparfaites, relativement aux fours dont on faisait usage autrefois. Le moine Théophile décrit les fours employés en verrerie au douzième siècle (fig. 102); cette description est semblable à celle que donne Agricola trois siècles plus tard. Jusqu'au dix-huitième siècle, les fours de verrerie subirent peu de changements, peu de perfectionnements, car tous les traités sur la verrerie reproduisent les dessins d'Agricola (fig.103 four à fritter, four de fusion et de travail, four à recuire).

Voici ce qu'on lit dans Agricola, au livre XII de son *Traité de Métallique* :

« Il nous reste à traiter du verre dont la préparation est de notre ressort, car c'est un produit de quelques sucs concrets et de sable, unis à l'aide du feu et de l'art; c'est un corps transparent comme les pierres précieuses, et entrant en fusion comme les métaux; mais il faut commencer par traiter de la matière dont se fait le verre, ensuite de quoi nous parlerons des fourneaux où il se fait, et enfin de la manière dont on s'y prend. On se sert pour cela de pierres fusibles et de sucs concrets, ou de sucs tirés d'autres substances, qui ont une affinité naturelle avec ces pierres. Parmi les pierres fusibles on donne la préférence à celles qui sont blanches et transparentes; c'est pourquoi l'on met au premier rang le cristal de roche. D'après Pline, on fait aux Indes avec des morceaux de cristal, un verre d'une si grande beauté et si transparent, qu'aucun autre ne peut lui être comparé. On donne le second rang aux pierres qui, sans avoir la dureté du cristal, en ont la blancheur et la transparence; enfin on place au troisième rang les pierres blanches qui ne sont point transparentes. Il faut commencer par les calciner toutes, et les piler ou les broyer pour les réduire en sable; on les tamise ensuite; quand les verriers trouvent à l'embouchure des rivières un sable convenable, ils sont dispensés du travail de piler et calciner les cailloux.

» Quant aux sucs concrets, on donne le premier rang au nitre; le sel fossile blanc et transparent vient ensuite; à son défaut on prend le sel lixiviel tiré de la cendre de l'*anthyllis* (1) ou de toute autre plante qui contient du sel ; il y a ce-

(1) Herniole, plante de la famille des Hépatiques.

pendant des gens qui mettent ce dernier sel au second rang. Pour faire le mélange des pierres fusibles pulvérisées, on observe d'en mettre deux parties

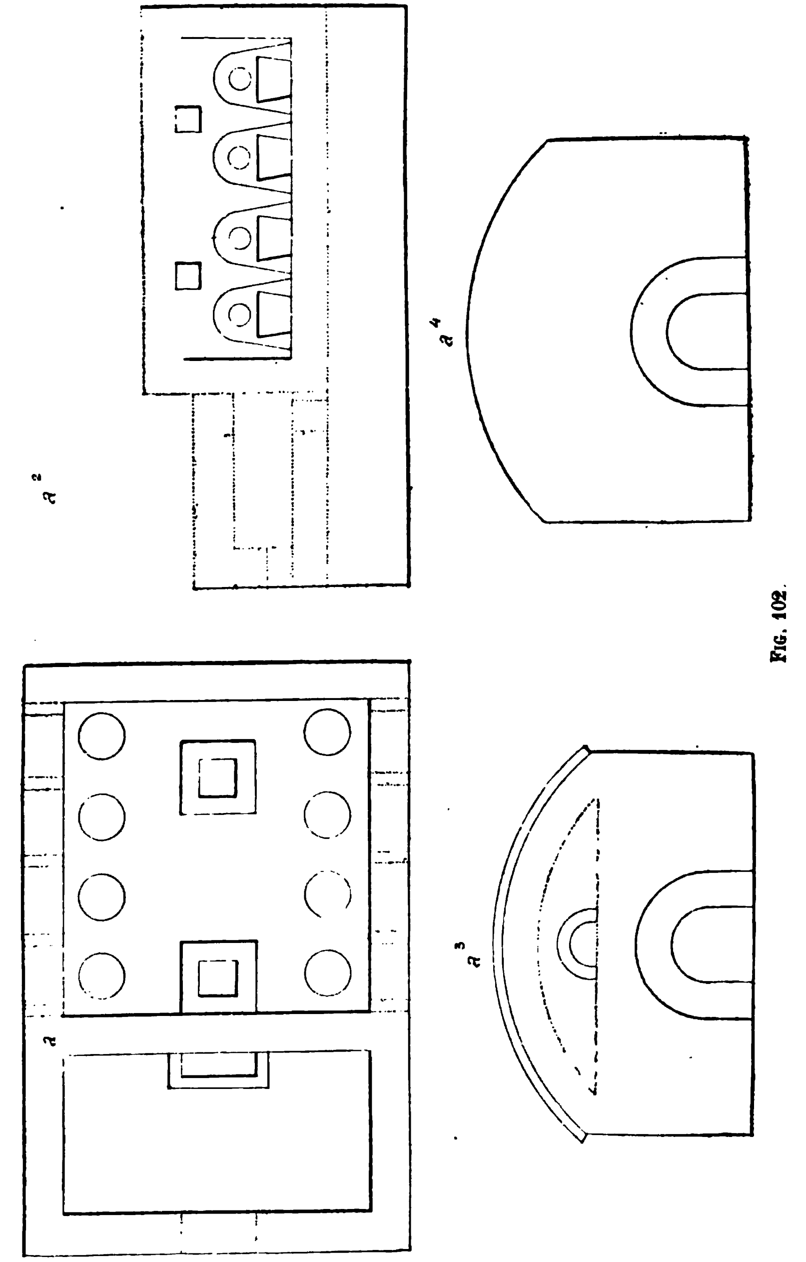


Fig. 102.

contre une de nitre, de sel fossile, ou de sel tiré des plantes ; on y joint un peu d'*aiman* (1); on pense de nos jours aussi bien qu'anciennement qu'il a la pro-

(1) Agricola s'est visiblement trompé dans cet endroit; il aura sans doute pris la *magnésie* pour de l'aimant.

priété d'attirer la liqueur du verre, de la même manière qu'il a celle d'attirer le fer, de le nettoyer et de le rendre blanc, de vert ou nébuleux qu'il était; le feu consume ensuite l'aimant. Ceux qui n'ont point les sels ou sucs concrets dont nous venons de parler, mêlent au sable deux parties de cendres de bois de chêne d'yeuse, de hêtre ou de sapin; on y ajoute un peu de sel marin et très peu d'aimant; ces dernières matières ne donnent point un verre si beau ni si transparent que les premières. Quant aux cendres, on les fait avec de vieux arbres dont on creuse les troncs à la hauteur de six pieds, on y met le feu; de cette façon l'arbre se consume et se réduit en cendres. Pour le travail on choisit l'hi-

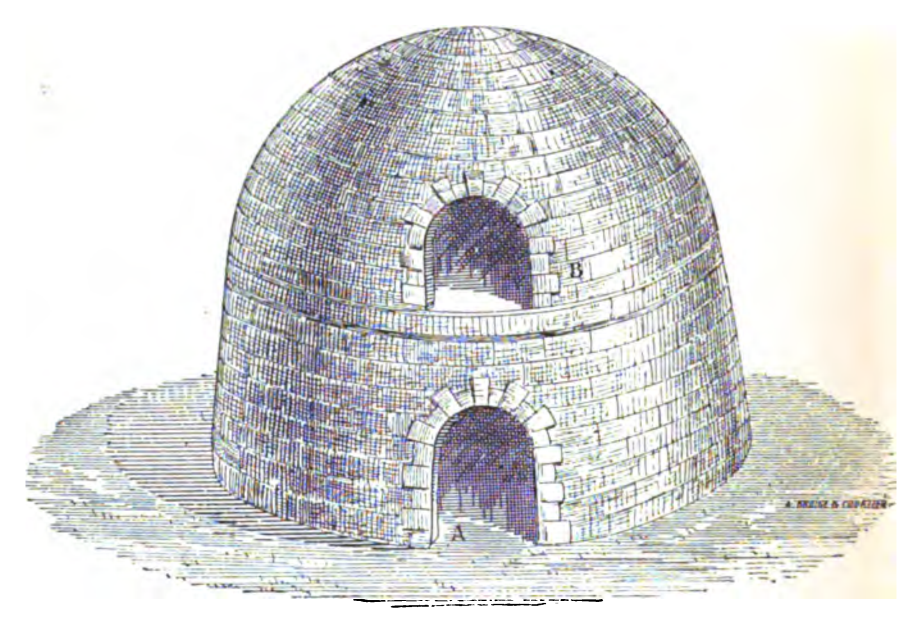


Fig. 103.

ver, lorsque les neiges ont séjourné longtemps sur la terre; ou l'été, lorsqu'il ne pleut point; car dans d'autres temps de l'année, les grandes pluies rendraient les cendres impures, en les mêlant avec de la terre. Pour prévenir cet inconvénient, on coupe ces arbres en morceaux, que l'on brûle dans un endroit couvert pour en tirer des cendres.

» Pour ce qui est des fourneaux, il y a des verriers qui en ont trois; d'autres n'en ont que deux: d'autres enfin n'en ont qu'un : ceux qui en ont trois, font d'abord cuire leur matière dans le premier fourneau; ils la mettent recuire dans le second, et font refroidir les vases ou ouvrages de verre dans le troisième. Le premier de ces fourneaux est voûté et ressemble à un four à cuire du pain. Dans sa partie ou chambre supérieure qui a six pieds de long, quatre pieds de large et deux pieds de hauteur, on allume un feu de bois sec et l'on y fait cuire le mélange à grand feu, jusqu'à ce qu'il entre en fusion et se change en verre : quoique par cette première cuisson, la matière ne soit point encore assez purifiée,

on ne laisse pas de la retirer; et après qu'elle a été refroidie, on la rompt en morceaux. On fait recuire dans le même fourneau les creusets destinés à contenir le verre (on peut voir dans la figure 103, la représentation de ce fourneau :

(A, chambre inférieure du premier fourneau;

B, chambre supérieure du même fourneau).

» Le second fourneau est rond; il a dix pieds de large et huit de hauteur; pour le rendre plus fort à l'extérieur, on le garnit de cinq arcades ou contreforts, d'un pied et demi d'épaisseur. Ce fourneau contient aussi deux chambres. La voûte de la chambre inférieure doit avoir un pied et demi d'épaisseur: il faut qu'il y ait par-devant une ouverture étroite, pour pouvoir mettre le bois sur le

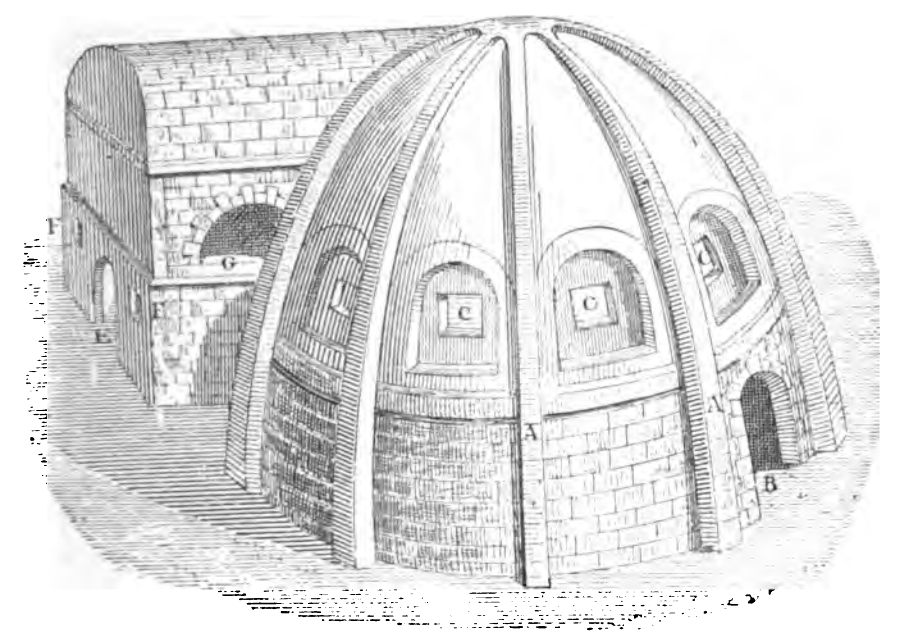


FIG. 104.

foyer qui est pratiqué dans l'âtre. Au milieu de la voûte, il doit y avoir une grande ouverture ronde qui communique avec la chambre supérieure, afin que la flamme puisse y parvenir. Dans le mur qui environne la chambre supérieure, il faut qu'il y ait huit fenêtres entre les arcades, assez grandes pour que l'on puisse y faire entrer les grands creusets que l'on place sur le plan de la chambre autour de l'ouverture par où la flamme passe ; il faut que ces creusets aient deux doigts d'épaisseur et deux pieds de hauteur, que le diamètre de leur ouverture et celui du fond soit d'un pied, et qu'ils aient un pied et demi au milieu. A la partie postérieure du fourneau, il y aura une ouverture d'un palme en carré, afin que la chaleur puisse pénétrer dans un troisième fourneau qui y est joint ; ce dernier fourneau est carré, il a huit pieds de long et six de large; il est aussi composé de deux chambres, dont l'inférieure doit avoir par-devant une ouverture pour mettre le bois dans le foyer qui s'y trouve. Aux deux côtés de



cette ouverture, il y a une niche faite de terre cuite qui a environ quatre pieds de long, deux pieds de haut et un demi-pied de large. Pour la chambre supérieure elle a deux ouvertures, l'une à droite, l'autre à gauche, qui sont assez larges pour que l'on puisse y remettre commodément les moufles de terre cuite. Il faut que ces moufles aient trois pieds de long, un demi-pied de haut, un pied de large par le bas, et soient arrondies par le haut. On y met les ouvrages de verre que l'on a faits, afin qu'ils refroidissent petit à petit; car, si l'on ne prenait cette précaution, ils se briseraient. On retire ensuite les moufles de la chambre supérieure et on les fait entièrement refroidir dans les niches qui sont aux deux côtés de l'ouverture de la chambre inférieure.

(Fig. 104 : A, arcades ou contreforts du second fourneau ;

B, orifice de la chambre inférieure;

C, fenêtres ou ouvrages pratiqués dans la voûte de la chambre supérieure;

E, orifice du troisième fourneau;

F, endroit où l'on met les moufles à refroidir les verres ;

G, ouvreaux de la chambre supérieure.)

» Ceux qui n'ont que deux fourneaux, ou manquent du troisième, ou manquent du premier ; ceux-là sont dans l'usage de fondre leur matière dans le premier fourneau; de la faire recuire dans le second et d'y mettre refroidir leurs ouvrages, à la vérité, dans des chambres différentes; ceux-ci font cuire et recuire leur matière dans le second fourneau, et portent leurs ouvrages refroidir dans le troisième. Mais il y a de la différence entre le second fourneau de ces derniers et celui que nous avons nommé le *second* des premiers; il est rond, mais sa cavité a huit pieds de large et douze pieds de haut, et contient trois chambres; la plus basse est semblable à l'inférieure du second fourneau des premiers, excepté qu'au milieu de cette chambre il y a six arcades ou contreforts qu'il faut enduire de lut après que l'on y a mis les creusets échauffés, en observant cependant d'y laisser de petites ouvertures ou fenêtres et qu'à la chambre du milieu il y a une ouverture d'un palme en carré par où la chaleur se répand dans la chambre supérieure, qui a par derrière une ouverture par laquelle on peut faire entrer sur un moufle oblong les verres à refroidir petit à petit. Dans cet endroit le sol de l'atelier doit être plus élevé, ou bien l'on y pratique une banquette pour que les verriers puissent y monter et placer plus commodément leurs ouvrages.

(Fig. 105 : A, chambre inférieure du second fourneau de ceux qui n'ont que le second et le troisième ;

B, chambre du milieu;

C, chambre supérieure ;

D, orifice de la chambre supérieure;

E, ouverture ronde par où la flamme passe ;

F, trou carré par où la chaleur entre dans la chambre supérieure.)

» Les verriers qui n'ont point le premier fourneau, après avoir rempli leur tâche journalière, mettent le soir leur matière dans les creusets : elle se cuit pendant la nuit et se change en verre; de petits garçons passent la nuit et ne font qu'entretenir le feu avec du bois sec. Pour ceux qui ne se servent que d'un

seul fourneau, ils font usage de celui qui a trois chambres : ils mettent le soir leur matière dans les creusets, de même que ceux dont on vient de parler, et le

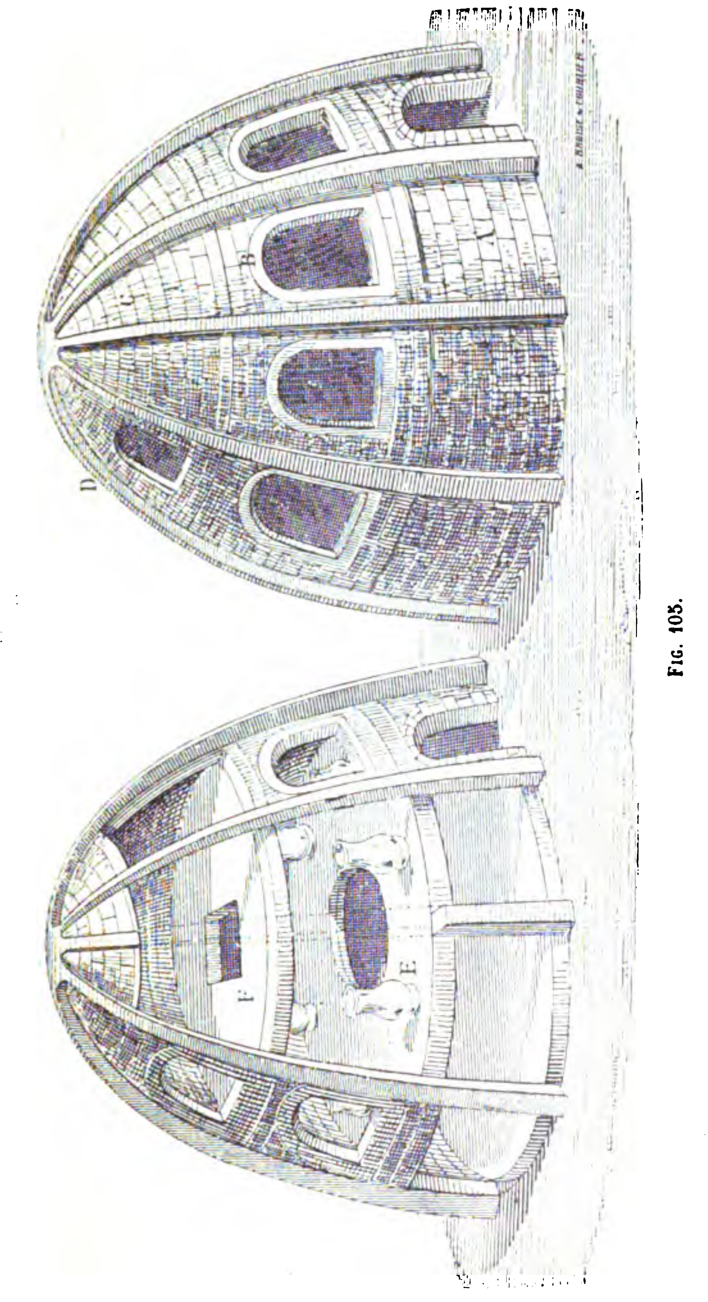


Fig. 103.

lendemain matin, après l'avoir purifiée, ils se mettent à la travailler et placent leurs ouvrages dans la chambre d'en haut.

» Le second fourneau, soit qu'il ait deux, soit qu'il ait trois chambres, doit être construit de briques non cuites, séchées au soleil, faites d'une terre qui

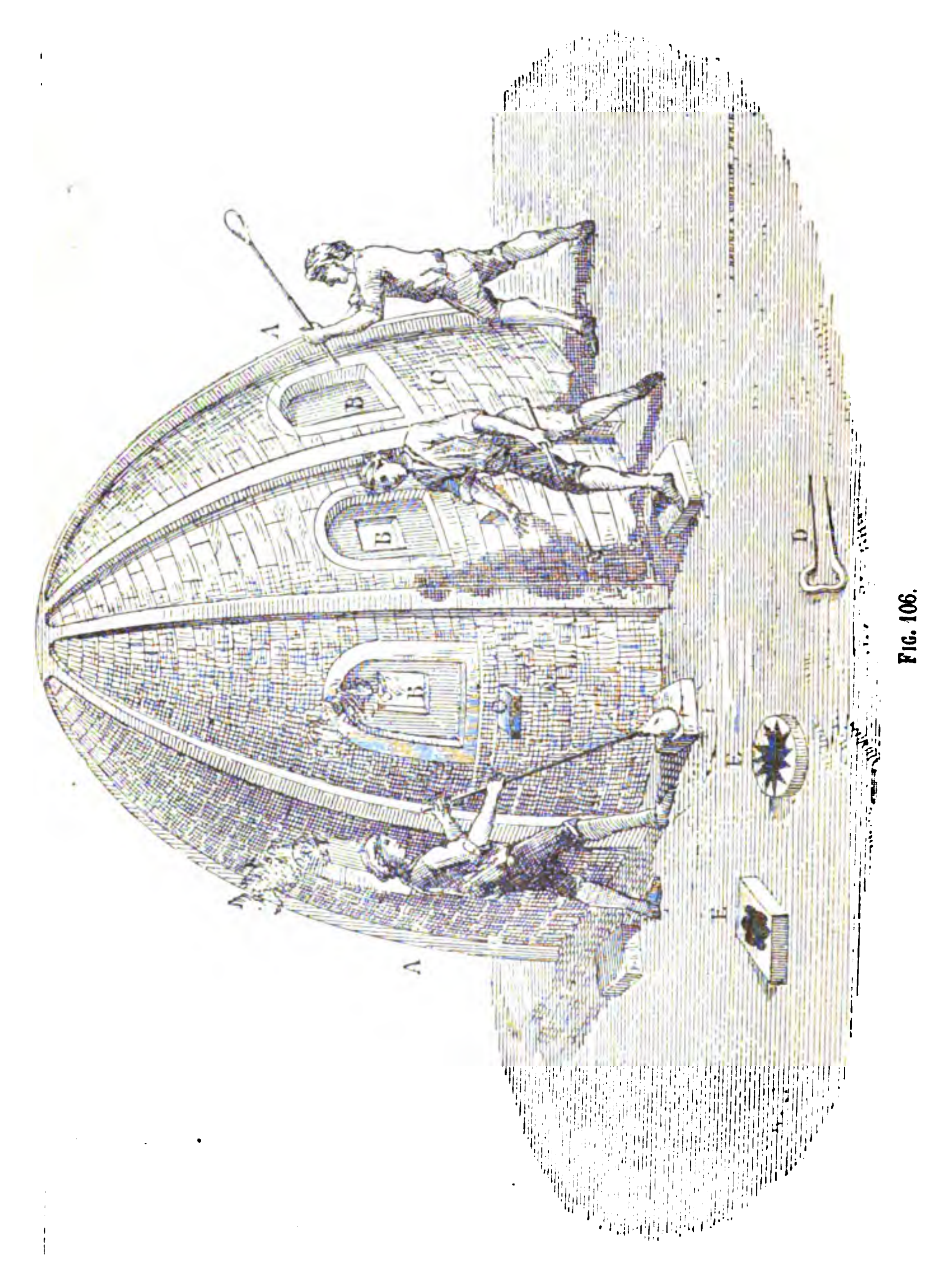


Fig. 106.

n'entre point en fusion au feu et ne se mette point en poussière ; il faut que cette terre soit séparée de toutes pierres et battue avec des bâtons ; il faut que ces briques soient cimentées avec la même terre au lieu de chaux; les creusets et

autres vases doivent être de la même matière et avoir été séchés à l'ombre.

» Après avoir parlé de deux parties de l'art de la verrerie, il nous reste encore à traiter de la troisième. Lorsque la masse de verre a été cuite dans le premier fourneau de la manière qui vient d'être décrite et qu'on l'a brisée en morceaux, on chauffe le second fourneau pour y mettre recuire ces morceaux. Pendant ce temps, l'on fait chauffer les creusets à feu doux, dans le premier fourneau, afin d'en faire partir toute l'humidité; on augmente ensuite le feu, afin qu'ils rougissent. Quand ils sont à ce point, on débouche l'ouverture; on les prend avec des tenailles, et s'il ne s'y est point fait des fentes, on les met promptement dans le second fourneau, et après les y avoir échauffés de nouveau, on les remplit de morceaux de verre. On bouche ensuite tous les ouvreaux ou fenêtres avec de la terre grasse et des briques, et on ne laisse que deux petites ouvertures à chacune, dont l'une sert à regarder dans le fourneau et à tirer le verre qui est dans le creuset avec la canne, l'autre à mettre une autre canne pour la chauffer. L'une et l'autre de ces cannes, est ou de cuivre, ou de laiton, ou de fer, et a trois pieds de longueur. Outre cela, l'on met devant les ouvreaux des fourneaux, des morceaux de marbre que l'on enduit de terre et que l'on garnit d'un fer qui sert à soutenir la canne lorsqu'elle est dans le fourneau; ce qui sert aussi à garantir les ouvriers de l'ardeur du feu. Ces précautions prises, les ouvriers se mettent à travailler.

» Pour recuire ou affiner le verre, on se sert de bois sec qui ne donne point de fumée, mais beaucoup de flamme. Plus on y laisse le verre, mieux il se purifie : plus il est transparent et est dégagé de bulles et de taches, plus les verriers ont de facilité à le travailler. C'est pourquoi lorsqu'on ne laisse le verre se cuire que pendant une nuit, et qu'on se met tout de suite à le travailler, il est beaucoup moins pur et moins transparent, que lorsqu'après l'avoir fait fondre, l'on en met les morceaux recuire pendant un jour et une nuit ou davantage; car ce n'est pas seulement de la matière que dépend la bonté du verre, il faut encore que la cuisson s'en fasse bien. Les verriers en prennent souvent au bout de leurs cannes pour servir d'essai, et lorsqu'ils se sont enfin assurés que le verre a été suffisamment recuit et purifié, chacun trempe sa canne dans le creuset, et après l'y avoir tournée, il en tire du verre qui s'y attache comme un suc glutineux et flexible et s'y forme en boule. On n'en prend à la fois qu'autant qu'il en faut pour l'ouvrage qu'on se propose de faire; on le pose sur un marbre où on le roule et le retourne, afin qu'il se lie et s'unisse, et en soufflant on l'enfle comme on ferait une vessie. A chaque fois que le verrier souffle, il a soin d'ôter la canne de sa bouche, de peur que, s'il venait à retirer son haleine, il n'attirât de la flamme. Ensuite il fait tourner la canne circulairement autour de sa tête, pour allonger le verre, ou il lui donne la forme convenable dans un moule de cuivre; il met réchauffer l'ouvrage qu'il a fait; il l'enfle, le presse et lui donne la forme d'un gobelet ou de tel autre vase qu'il veut; il le remet de nouveau sur la plaque de marbre, de cette façon il en élargit le fond; il coupe ensuite avec ses ciseaux le cou de la bouteille, et, s'il est nécessaire, il y fait des anses et des pieds. S'il veut, il la dore, ou lui donne différentes couleurs. Il met enfin le vase dans le moufle oblong de terre, pour refroidir, au troisième fourneau ou dans la chambre supérieure du second fourneau. Lorsque le moufle est

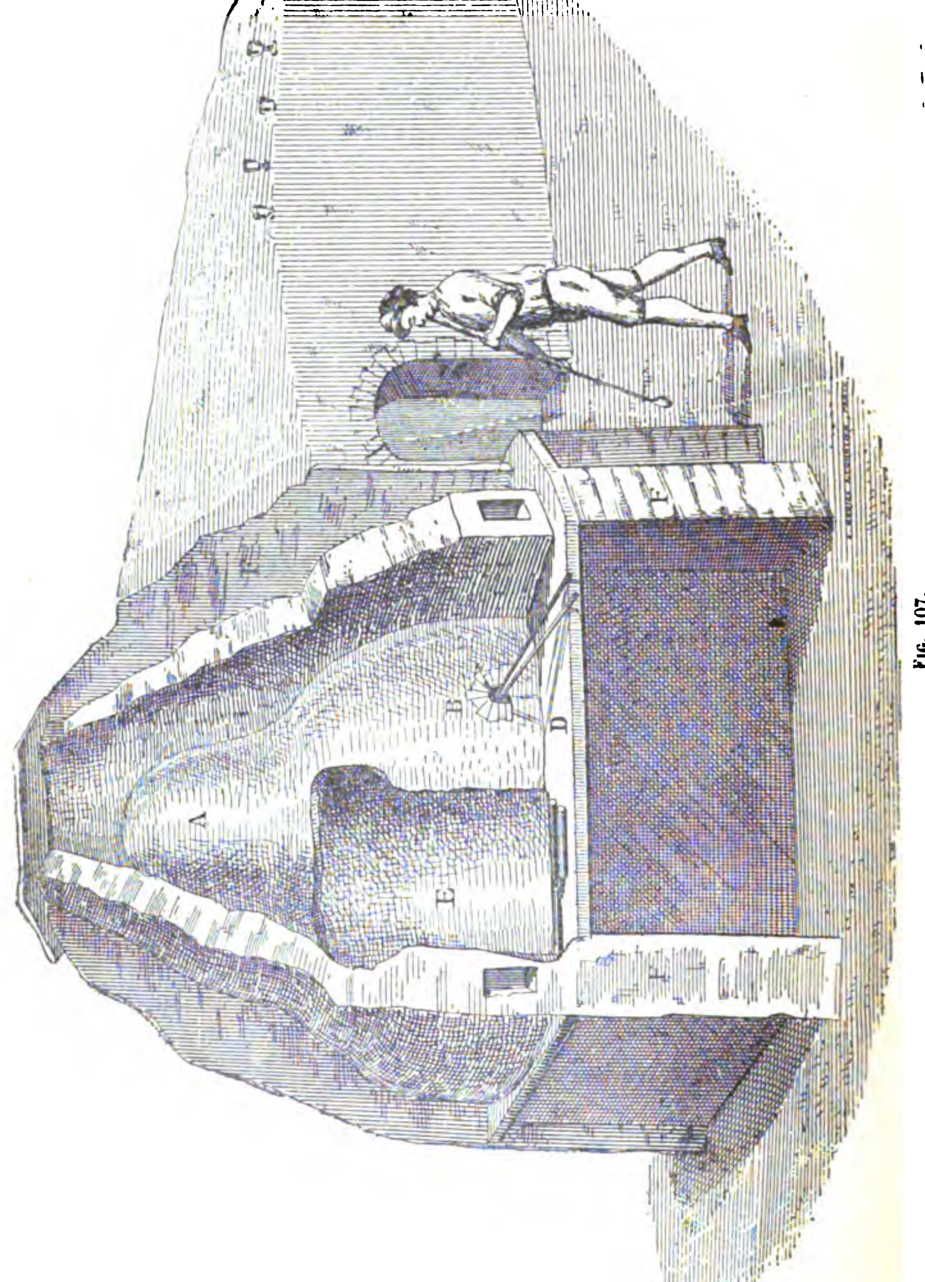


Fig. 107.

rempli de vases de verre refroidis petit à petit, il l'enlève et la fourre dans une des niches qui est à côté de l'orifice du troisième fourneau.

» Les verriers font différents vases avec leur verre, tels que : des gobelets, des bouteilles, des matras, des plats, des vitres, des animaux, des arbres, des vaisseaux et d'autres ouvrages merveilleux que j'ai eu occasion de voir pendant le séjour de deux ans que j'ai fait à Venise; on y apportait vers la fête de l'Ascension ces sortes d'ouvrages, de Murano où sont les plus célèbres verreries, etc.

(Fig. 106 : B, petites fenêtres ou ouvreaux;

C, plaques de marbre;

D, ciseaux;

E, moules dans lesquels on donne la forme au verre.)

Il nous resterait à donner non seulement la forme des fourneaux de verrerie usités à Amsterdam, et les instruments qui en dépendent, mais encore un

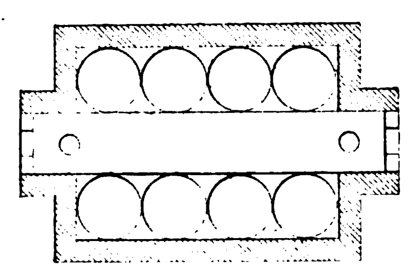


Fig. 108.

détail de la méthode suivant laquelle on y travaille; mais comme le docteur Perret a expliqué ailleurs d'une manière circonstanciée les principales opérations de l'art de la verrerie, nous ne nous y arrêterons pas.

Nous avons encore vu en Bohême, dernièrement, des fours chauffés au bois, d'autres chauffés à la tourbe. Ces fours sont généralement de forme ovale, à huit creusets ouverts, chaque creuset contenant 60 à 100 kilogrammes de verre. Depuis quelques années on a cependant adopté, dans quelques-unes de ces verreries, le four Siemens à huit ou dix creusets, d'une capacité de 150 kilogrammes.

A Venise, nous avons vu, en 1881, des fours chauffés au bois, d'autres chauffés à la houille, de forme absolument primitive et que reconnaîtrait probablement Agricola; fours à six creusets en forme ovale, à la suite desquels se trouvent des fours à recuire, servant de cheminée de tirage au four lui-même (fig. 107).

Dans le nord de la France on se servit de fours semblables comme formes extérieures, jusqu'à la fin du siècle dernier. Ces fours présentaient cependant sur les premières un grand perfectionnement en ce sens que le combustible, au lieu d'être répandu sur la sole du four, brûlait sur une grille encastrée, en contre-bas du siège ou sole, et dans un canal avec cendrier, donnant ainsi une combustion plus parfaite et une allure plus régulière au four. Dartigue est l'auteur de ce perfectionnement.

A côté de ces fours se répandirent les fours carrés, dits *fours allemands*, dans lesquels deux foyers se faisaient vis-à-vis. Dans ces fours le foyer lui-même

servait de chambre de fusion (fig. 108). De chaque côté de la *fosse* située longitudinalement dans le four, se trouvaient de fortes maçonneries formant les *sièges* sur lesquels on plaçait les creusets.

Voici des figures (fig. 109, 110) qui représentent un four semblable à huit creu-

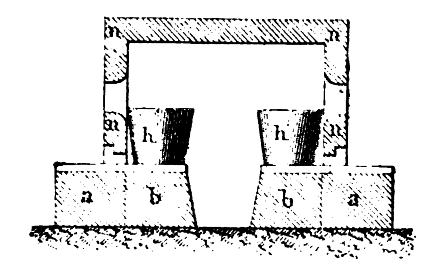


Fig. 109.

sets, four chauffé au bois : *ff*, représentent les fondations, *c*, le foyer, *bb*, les sièges, sur lesquels posent les creusets *hh*. Au-dessus des parties du four dépas-

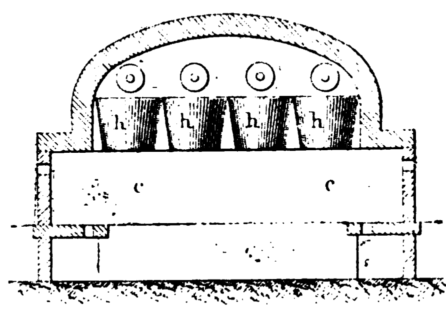


Fig. 110.

sant les sièges, se trouvent de petites voûtes ou *glayes* formant les extrémités des carneaux ou *tonnelles*. Les murs latéraux, *n*, *n*, dans lesquels sont percées les

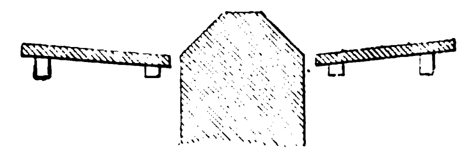


Fig. 111.

ouvertures *o*, *o*, ou *ouvreaux*, et la grande voûte ou *couronne*, s'étendant au-dessus du fourneau, ferment ce dernier de tous côtés.

Partant de la disposition du four décrit par Agricola, il existe une autre disposition de four avec grilles pour la combustion du bois, grilles disposées aux extrémités du four. Comme exemple de ces dispositions, nous donnons un ancien four français tel qu'il était en usage dans les anciennes verreries (pl. IX). Ces fours avaient un tirage suffisant et permettaient, autant que cela est pos-

sible avec un chauffage direct, de régler la température suivant les besoins; les résultats obtenus étaient satisfaisants pour cette époque et ces fours étaient très nombreux.

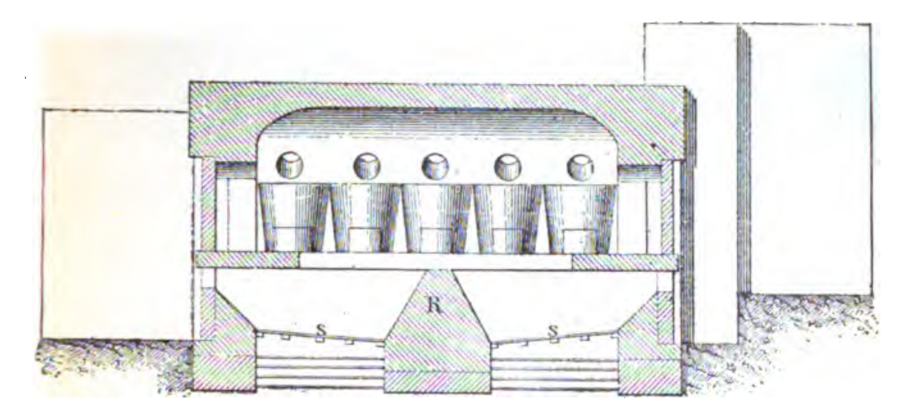


FIG. 112.

La houille substituée au bois dans le chauffage a nécessité d'importantes modifications aux fours de fusion : combustible plus compact que le bois, la

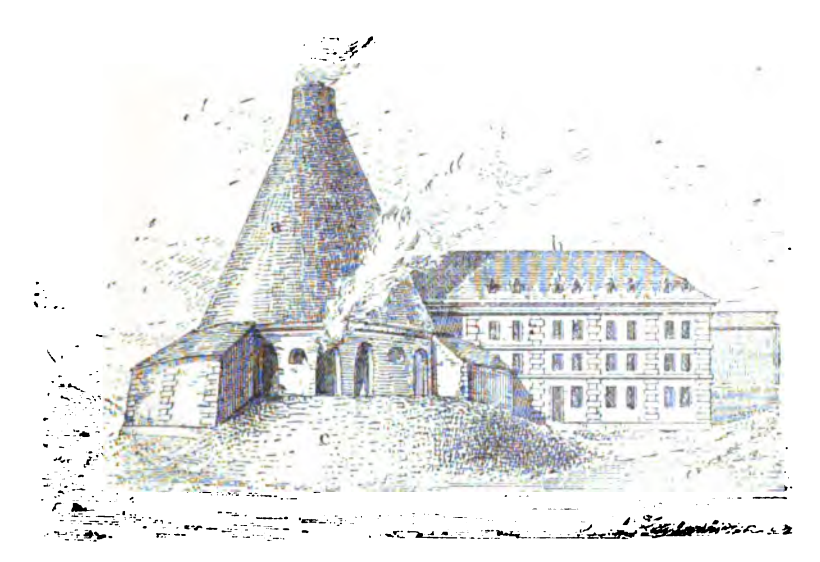


FIG. 113.— Verrerie chauffée au charbon de terre.

Vue extérieure d'une verrerie anglaise. — *a*, forme extérieure et conique du comble d'une halle de verrerie anglaise; *b*, bâtiment de service pour la verrerie; *c*, talus ou glacis extérieur permettant l'accès de la halle; *d*, extérieur des fours à recuire.

houille exige de la part du chauffeur une attention soutenue s'il veut obtenir la flamme longue, régulière, qui est nécessaire.

Son emploi exige des couches épaisses de combustible, mais comme elle brûle

plus lentement que le bois, cette épaisseur de couche ne suffit pas; pour obtenir une longueur de flamme suffisante il faut de grands foyers, de longues grilles. Ces grilles ont besoin d'être dégagées, débarrassées des cendres, des crasses de mâchefers, qui les obstruent et empêchent l'arrivée de l'air; elles sont donc forcément limitées dans leurs dimensions, et même on construit au milieu de la fosse — ou cavité du foyer — un *pont* qu'on élève jusqu'aux deux tiers environ de la hauteur du siège. Ce pont est évasé à sa partie supérieure de façon à ne pas étrangler la flamme; contre ce pont viennent s'appuyer des deux côtés les extrémités des deux grilles (fig. 111).

Ces fours sont naturellement construits sur des voûtes ou caves, amenant l'air

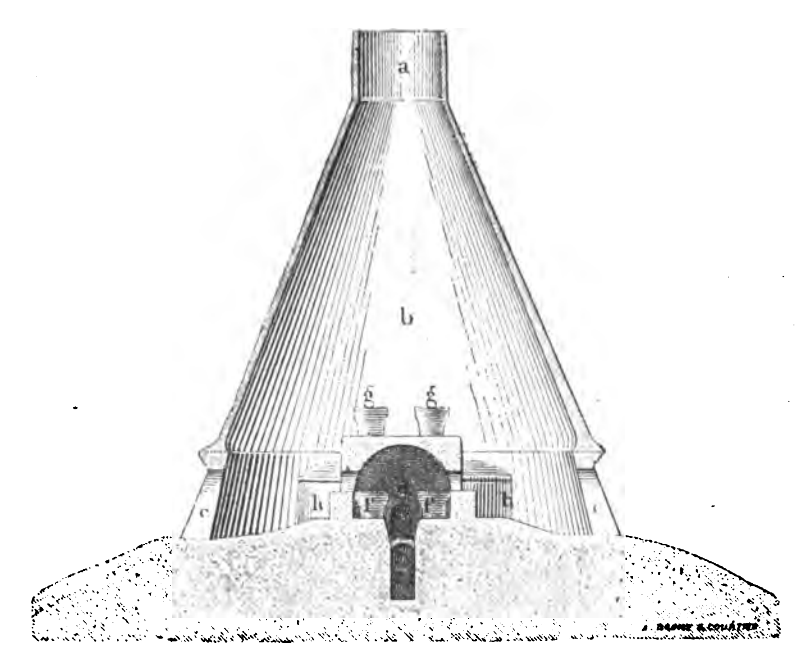


Fig. 111.

Coupe d'une verrerie anglaise sur la largeur. — *a*, cheminée d'évacuation de la fumée; *b*, forme intérieure et conique d'une halle; *c*, entrée de la halle; *d*, intérieur du four; *e*, cave; *f*, pot dans le four; *g*, pot séchant sur le four; *h*, extérieur des arches à pots.

sous les grilles. Ces voûtes sont construites sous terre afin de ne pas obliger à relever outre mesure le niveau du sol des halles. Dans la figure 112, R représente le pont, *s*, *s*, les grilles inclinées du côté de ce pont. Malgré le tirage énergique nécessaire pour la combustion de la houille, on n'a pas appliqué à ces fours de cheminées ayant de grandes hauteurs.

On remarque généralement de petites cheminées d'appel ou *logis*, ne dépassant que peu la voûte des fours; ces *logis* sont destinés à empêcher la sortie des produits de la combustion, de la fumée, par les ouvertures et de diriger au contraire la flamme contre la partie inférieure des creusets. Ces cheminées sont percées dans l'épaisseur du mur avec deux ouvertures à quelques centimètres au

dessus du niveau des sièges et se relèvent à angle droit le long du mur du four jusqu'à 20 ou 25 centimètres au-dessus de la voûte. En cet endroit un manteau conique en tôle dont le sommet débouche à l'extérieur sert à rassembler les produits gazeux à évacuer.

En Angleterre, les *howels* transforment la verrerie en un immense manteau de cheminée, en une sorte de cône (fig. 113 et 114). Cette disposition témoigne de l'importance de la direction et du réglage du tirage quand on emploie la houille. Autour du canal souterrain d'arrivée de l'air, le bâtiment en maçon-

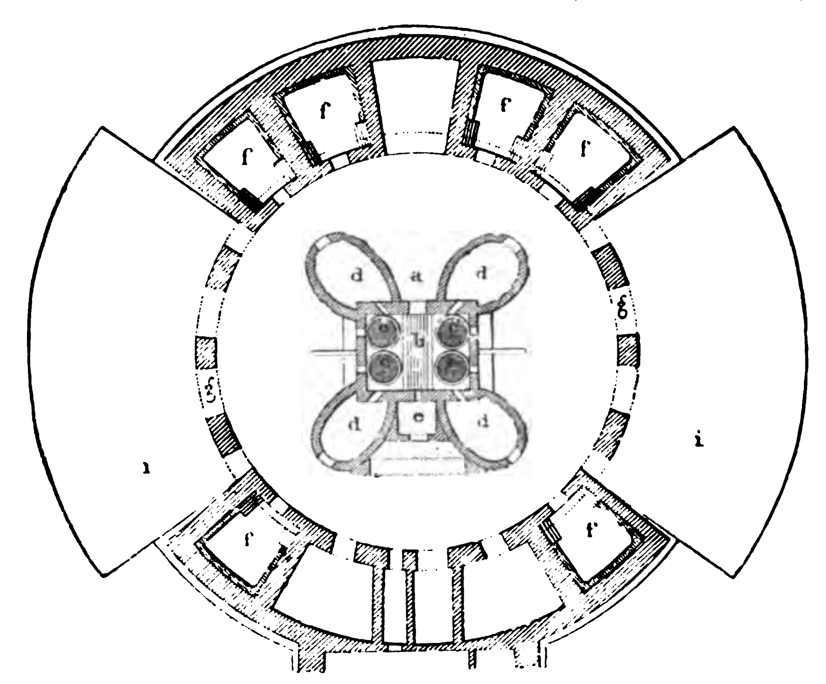


FIG. 114 *bis*.
Plan du premier étage d'une halle anglaise avec son four et son bâtiment de service. *a*, plan du four ; *b*, grille sur laquelle on met le charbon pour échauffer le four ; *c*, pot dans le four ; *d*, arche à pots pour les recuire avant de les remettre dans le four ; *e*, carcaise pour cuire les matières avant de les introduire dans les pots ; *f*, petit four pour recuire les verreries après leur soufflage ; *g*, porte d'entrée de la halle ; *h*, bâtiment disposé pour le service de la verrerie anglaise ; *i*, talus extérieur de la halle permettant d'entrer dans la verrerie.

nerie est disposé en forme de cône tronqué creux, à la base duquel on a ménagé les passages nécessaires. Dans ces howels, l'air qui s'y trouve enfermé est très chaud, aussi ouvre-t-on les portes afin de provoquer de forts courants d'air. Ces portes C, C sont cependant fermées pendant la fusion des matières vitrifiables afin d'amener une grande quantité d'air sous la couche du combustible enflammé, cela par l'aspiration du canal souterrain. Les résultats obtenus en Angleterre avec ces fours étaient très satisfaisants quant à la combustion et à la température obtenues.

Ces fours étant soustraits à l'influence du vent et des intempéries, les fontes étaient très rapides.

Bien des modifications ont été proposées, ont été même appliquées dans l'emploi de la houille au chauffage des fours de verreries; ces modifications avaient pour but une meilleure répartition des flammes, une combustion plus complète de la houille. MM. Chance, à Birmingham, obtinrent par une disposition ingénieuse de carneaux disposés au-dessus de la grille, les têtes des voûtes de ces carneaux formant le siège sur lequel reposaient les creusets, une bonne répartition de la chaleur, mais par le fait de cette disposition le siège lui-même s'altérait rapidement.

M. Chance fit l'essai de fours chauffés à l'anthracite, Bellford fit le même essai avec la houille. Anthracite et houille étaient brûlées dans des foyers spéciaux, sortes de gazogènes dans lesquels il introduisait l'air sous pression, à l'aide de souffleries.

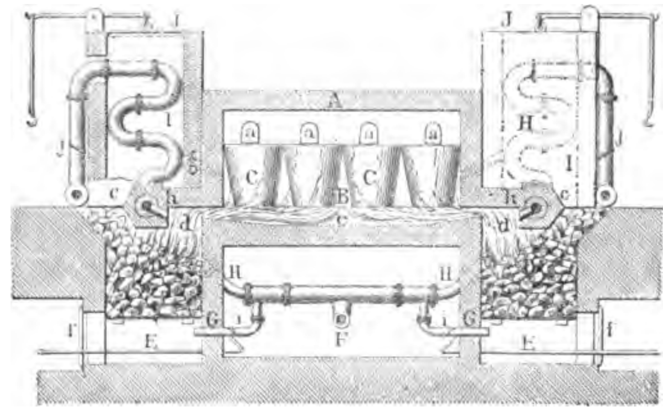


FIG. 115.

A, voûte; B, siège *déprimé* pour recevoir le verre débordant des creusets; DD, foyers; EE, cendriers fermés hermétiquement par les portes *ff*, en communication avec l'intérieur du four par les anneaux *dd*; II, chambres destinées à chauffer l'air (utilisation de chaleur perdue), fermées par les couvercles JJ; CC, passages servant à l'alimentation des foyers et recouverts hermétiquement jusqu'au moment d'une nouvelle charge; *f*, tuyau venant de la soufflerie, se bifurque en deux branches : la première débouche dans le cendrier E sous la grille, et est munie dans sa partie G d'un papillon *i*; la seconde H s'élève dans la chambre T où l'air s'échauffe et vient déboucher en *h* dans le foyer (à sa partie supérieure).

Lorsque l'arrivée de l'air à ces fours est bien réglée, il se produit au-dessus des couches inférieures du combustible en ignition une sorte de distillation des couches du charbon nouvellement versé à la partie supérieure; ces produits gazeux s'enflamment au contact de l'air chaud arrivant par *h* et pénétrant par *d*, dans le four, produisent une flamme oxydante ou réductrice suivant la quantité d'air qui arrive par *h*. Quelques-uns de ces fours ont été employés en Belgique.

L'idée qu'eut Plant de se servir d'un courant d'air forcé afin d'obtenir une combustion plus complète et une température plus élevée, a de l'analogie avec l'idée d'utiliser les gaz perdus des hauts fourneaux, et avec la manière dont s'opère la combustion dans les fours à gaz employés pour le chauffage actuel de nos fours.

Avant de passer à la description des fours à gaz actuels, nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage spécial de M. Schinz (Stuttgart, 1853), qui donne des renseignements techniques sur les dimensions, la distribution des fours chauffés à feu direct, sur les combustibles, etc.

CHAUFFAGE PAR LE GAZ

Historique. — Nous avons cité précédemment les essais faits par M. Chance amenant dans ses fours à anthracite, au moyen d'une soufflerié, la quantité d'air nécessaire à la combustion; puis Bellford séparant complètement de son four la production du gaz qu'il brûlait avec de l'air sous pression. Enfin, d'après M. Bontemps, ce fut Fickentscher, de Zwickau (Saxe), qui vers 1850 employa le premier, d'une manière continue, le chauffage par le gaz provenant de lignites pour la fusion du verre dans un four à six creusets contenant chacun 225 kilogrammes de matières vitrifiables. Deux avantages ressortent de cet emploi du gaz: la faculté de régler la flamme et d'éviter la fumée, la séparation de la chambre de fusion du foyer, ce qui évitait les projections dans le verre des parcelles de pyrites ou de charbon provenant de l'éclat du combustible placé sur les grilles des anciens fours. Pour éviter la production des goudrons qui obstruent les conduits menant les gaz au four, ces gaz étaient lavés et perdaient ainsi une partie de leur chaleur. D'une part ce lavage, d'autre part la nécessité d'emploi d'un ventilateur pour insuffler du gaz au four, firent abandonner l'usage de ce système, qui n'en reste pas moins très intéressant au point de vue de l'idée première.

Schinz prit, après M. Fickentscher, un brevet pour *four de verrerie alimenté par le gaz de combustion.* Le mérite de cet inventeur consiste dans l'établissement des fours à chauffage économique dans lesquels il utilisa le premier la chaleur des gaz perdus, et fit ainsi baisser la dépense du bois (et du lignite), dans le rapport de 11 à 4.

Des dispositions mécaniques ingénieuses, mais trop délicates, furent une des causes de la non-généralisation de ces fours.

Après avoir indiqué les deux premières tentatives du chauffage par le gaz des fours de verreries, il est juste de dire que, dès 1814, Berthier publia un mémoire sur l'utilisation des gaz perdus des hauts fourneaux. De 1839 à 1845, Ebelmen fit les analyses des gaz des hauts fourneaux, fours à coke, etc. En 1840, Ebelmen d'une part, MM. Thomas et Laurens d'autre part, firent les premiers essais pour la production du gaz de chauffage. Les gazogènes employés étaient des fours à cuve, ou cubilots, avec injections d'air et de vapeur; air et vapeur étaient surchauffés souvent jusqu'à 250 degrés avant leur injection; les résultats furent peu satisfaisants. De 1840 à 1850, on reprit la question en renversant les courants gazeux; les résultats ne furent pas meilleurs.

Puis, aux gazogènes à cuve, on ajouta une grille, puis ensuite on ajouta une chambre soufflée et deux grilles inclinées mobiles.

En 1852, M. Chobrzinski fit construire pour des locomotives du chemin de fer du Nord, des foyers dont les deux tiers étaient disposés en escalier pour recevoir

les combustibles gros ou menus. L'avant de la grille, incliné et étagé, pouvait être considéré comme un gazogène distillant les matières volatiles et produisant du coke qui se consumait à l'arrière de la grille. L'air aspiré par ce foyer était divisé et lancé au-dessus de la zone de production des gaz pour les brûler à l'origine de leur dégagement et sous l'action de la température la plus élevée. Après avoir été très vantés et employés en 1855, l'usage de ces foyers fut abandonné. En 1857, l'idée fut appliquée à la verrerie de Tscheitsch, en Moravie. Ce gazogène diffère peu des gazogènes actuels de MM. Boëtius, Siemens, etc.

Quoi qu'il en soit des tentatives faites pour introduire le chauffage au gaz en verrerie, et malgré les contestations plus ou moins intéressées de divers inventeurs, il n'en est pas moins vrai que dès la prise de leur brevet allemand du 2 décembre 1856 (1), et du brevet anglais de mai 1861, MM. Siemens frères *appliquèrent* cette idée fondamentale de faire servir la chaleur perdue qui s'échappe par les cheminées, à chauffer l'air atmosphérique alimentant la combustion, et à augmenter aussi la température des gaz qui viennent se brûler dans le four, système que ces Messieurs appelèrent *fours régénérateurs à gaz*. MM. Siemens rendirent ainsi un éminent service à l'industrie verrière, et nous qui manions ces fours à gaz depuis d'assez nombreuses années nous avons été à même de constater leurs avantages, les économies qu'ils procurent, et par contre nous n'avons pas trouvé très justifiées les critiques dont ces appareils ont été honorés.

CHAPITRE II

Fours Siemens à gaz et à régénérateurs. — Le four à gaz et à régénérateurs de Siemens consiste, comme tous les fours à gaz, en deux parties distinctes : le four proprement dit, avec ses valves de renversement, ses régénérateurs et sa chambre de fusion ou de travail, et le gazogène, dans lequel le combustible ou charbon tout venant, est converti en combustible gazeux et débarrassé ainsi de toutes les impuretés et matières étrangères de la houille.

Le gaz, en sortant du gazogène, est chaud, et une grande partie de cette chaleur est forcément perdue dans le trajet du gazogène au four. On pourrait donc se demander quelle est la nécessité de cette transformation de l'état solide à l'état gazeux. Assurément la combustion des gaz développe moins de chaleur que n'en développerait celle du combustible dans la chambre du four

(1) M. C. Siemens, qui s'est associé son frère Frédéric dans ses études sur le chauffage des fours, avait débuté par des recherches sur la régénération de la chaleur perdue dans les machines motrices, et dès 1846 (*cinq années avant Ericson*) il avait obtenu un brevet pour l'utilisation de la chaleur perdue des machines, condenseurs et appareils d'évaporation, au moyen de régénérateurs. — Robert Stirling prit, le 16 septembre 1816, à Édimbourg, un brevet pour des appareils propres à utiliser les chaleurs perdues des gaz et des liquides qui, par leur haute température, peuvent corroder les surfaces des appareils destinés à récupérer leur calorique. Hofmann et Ericson songèrent ensuite à utiliser les chambres en briques et les chambres en toiles métalliques. En 1856, M. Krafft fit connaître un accumulateur en briques chauffé à la flamme de houille ; mais tous ces essais n'eurent pas de suites.

où il produirait son effet. Cela serait exact si le four n'était pas muni de régénérateurs. Ces régénérateurs sont de beaucoup la partie la plus importante de toute la disposition, et pour faire bien comprendre le principe général du four, nous décrirons d'abord leur action.

Les *diagrammes ci-joints* (voy. fig. 116) représentent le four en coupe longitudinale et transversale. Le gaz venant du gazogène, passe par ce que l'on appelle une valve de renversement qui le dirige à la partie inférieure du régénérateur. Le gaz, en traversant la masse de briques qui constitue le régénérateur et qui est disposée de façon à former une large surface présentant des passages en zigzag, s'y échauffe, pourvu toutefois que de la chaleur y ait été

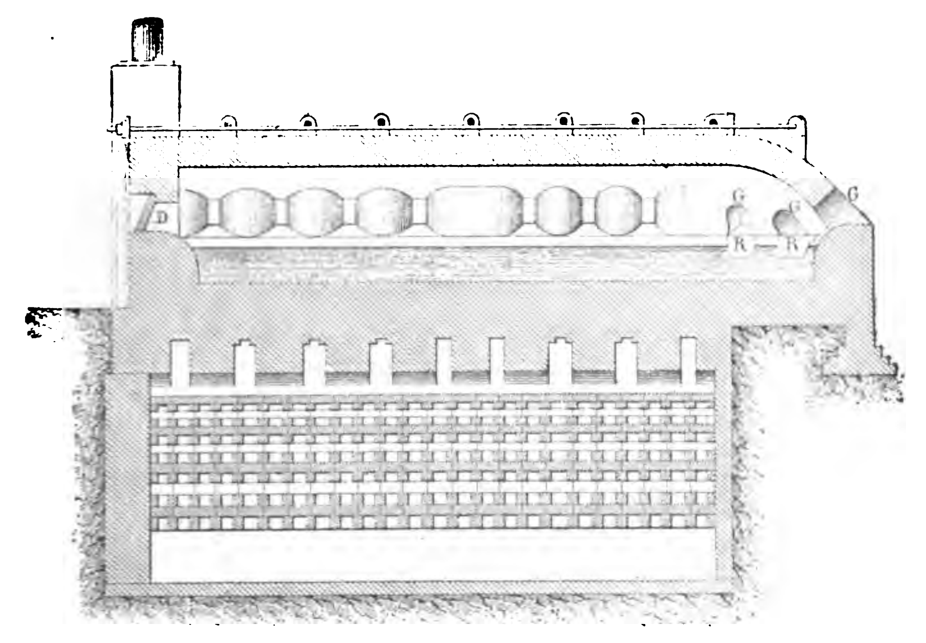


Fig. 116.

accumulée. Au commencement il n'y a pas de chaleur et le gaz traverse cette chambre sans s'y échauffer et arrive froid dans la chambre du four. En même temps, un courant d'air est admis par la valve de renversement de l'air dans le régénérateur à air qui est plus grand que celui à gaz. L'air, après avoir traversé l'empilage, arrive au même endroit que le gaz, dans la chambre de combustion du four. Maintenant, comme l'air et le gaz sont froids et qu'ils se rencontrent pour la première fois à leur entrée dans le four, ils développeront, lorsqu'on y mettra le feu, une chaleur qui ne sera certainement pas supérieure à celle que développerait le combustible solide, si on l'y brûlait à la même place; au contraire, le gaz de cette nature est un combustible plus pauvre que le combustible solide, et la chaleur développée dans le four sera par conséquent très faible. Mais la flamme, après avoir traversé la sole du four, ne se rend pas directement à la cheminée, elle est obligée de passer à travers deux chambres régé-

nératrices, semblables à celles ci-dessus décrites; la plus grande partie des produits de la combustion passe à travers la chambre à air, simplement parce que c'est la plus spacieuse, et l'excédent passe par la chambre à gaz. Les produits de la combustion s'échappent de ces chambres par les valves de renversement qui les dirigent au conduit de la cheminée.

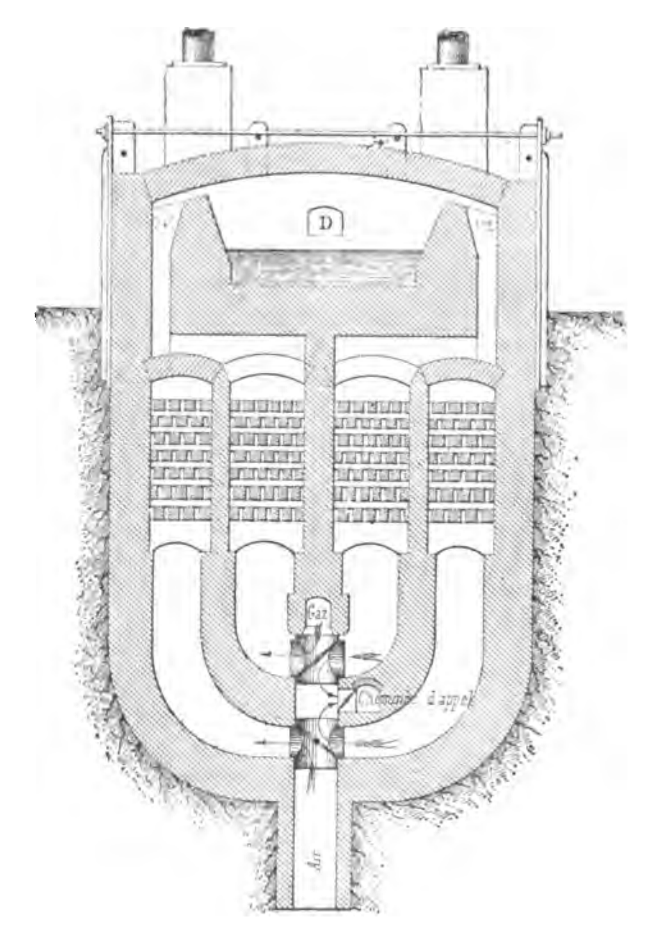


Fig. 117.

L'opération est donc simplement la suivante : l'air et le gaz combustible montent dans le four, à travers deux régénérateurs accouplés et se rendent à la cheminée, après leur combustion, à travers les deux autres régénérateurs; mais en passant à travers ce second couple, ils abandonnent leur chaleur aux briques. Les rangs supérieurs des empilages reçoivent les premiers l'impression de la chaleur et acquièrent le plus haut degré de température, et au fur et à mesure que les gaz brûlés descendent dans les régénérateurs, ils abandonnent graduellement leur chaleur et arrivent au fond des chambres et à la cheminée, relativement froids. Lorsque cela a duré une heure, par exemple,

on renverse les valves. Ces valves sont de simples clapets, agissant comme des robinets à quatre voies, et en faisant décrire un arc de cercle aux leviers qui y sont fixés. On renverse la direction des courants; le gaz et l'air entrent alors dans la seconde paire de chambres régénératrices, l'air monte dans l'une, le gaz dans l'autre, et ils y reprennent la chaleur abandonnée dans les briques, par les gaz descendant avant le renversement. Les gaz ainsi portés à une température de 800 degrés, je suppose, entreront en combustion, et si la température développée dans l'opération précédente était de 800 degrés, elle devra être maintenant de 1600 degrés, parce que la température initiale était déjà de 800 degrés. Les produits de la combustion s'échaufferont à 1600 degrés, et traversant les empilages de la première paire de régénérateurs, ils échaufferont ses rangs supérieurs à près de 1600 degrés. La température ira en décroissant graduellement jusqu'à ce que les produits gazeux soient revenus presque froids au bas des chambres. Recommençant alors l'opération au bout d'une autre heure ou d'une demi-heure, suivant le cas, le gaz s'échauffera jusqu'à près de 1600 degrés, et comme la combustion développe de nouveau 800 degrés de plus, la température du four atteindra cette fois environ 1500 degrés, et en continuant ainsi, on pourrait dire qu'à moins qu'on ne travaille dans le four, la chaleur développée par la combustion augmentera graduellement la température du four de 800 degrés, ou à peu près, à chaque renversement des valves, jusqu'à ce qu'on arrive à la limite pratique imposée par le point de fusion des matériaux les plus réfractaires que l'on puisse trouver (silice sous forme de briques de Dinas), dont sont ordinairement faites les voûtes des fours à fondre le verre.

Il y a cependant une limite théorique et pratique au degré de température que peut produire la combustion limite qui a été signalée pour la première fois par M. H. Sainte-Claire Deville; c'est le point de dissociation auquel l'acide carbonique serait de nouveau converti en ses éléments, carbone et oxygène. Si de l'oxyde de carbone ou tout autre gaz combustible, ainsi que de l'air, entrent dans le four à une température très voisine du point de dissociation, il est évident que leur association ou leur combustion ne peut s'effectuer, et *la nature* s'oppose ainsi heureusement à un accroissement de température qui deviendrait dangereux. Dans un four chauffé jusqu'à la température de fusion du fer, on peut très bien observer cette action de dissociation. Au commencement, lorsque le gaz et l'air sont comparativement froids, les gaz traversent le four en produisant seulement une flamme rouge sombre; lorsqu'on vient à renverser les valves, il se produit une flamme blanchâtre; au renversement suivant, une flamme blanche, courte, et lorsqu'on a atteint la chaleur tout à fait blanche, dépassant le blanc soudant, la flamme redevient longue, mais elle n'est plus rouge et est pour ainsi dire invisible, mais elle atteint le blanc bleuâtre et prend l'apparence de nuages. C'est là l'indication que le point de dissociation est presque atteint; la combustion ne peut donc plus se faire, si ce n'est dans la mesure de la chaleur perdue par le rayonnement ou absorbée par les matières traitées dans le four, et c'est là à peu près le degré de température nécessaire pour fondre l'acier sur sole.

L'appareil dans lequel le combustible solide est converti en gaz est un

appareil très simple, consistant en une chambre en briques, de forme cubique, d'environ 2m,50 de large, et dont un côté est un plan incliné. Le combustible

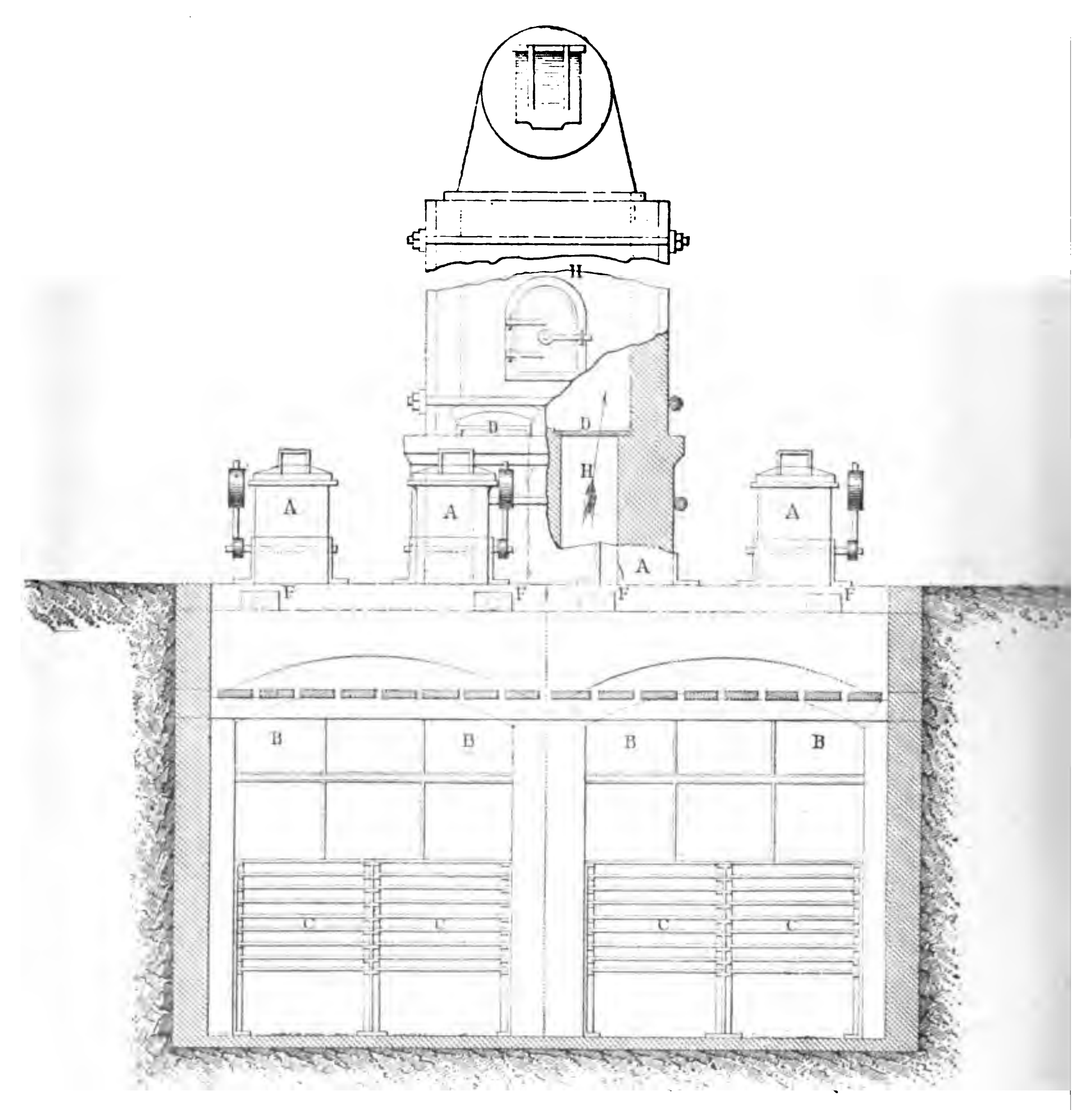


Fig. 118. — Batterie de deux générateurs à gaz; coupe et élévation; section d'une partie de la cheminée de la conduite à gaz.
A, A, trémies de chargement; B,B, plaques de fonte formant le plan incliné; C, C, barreaux en fer, formant les grilles et donnant accès à l'air; D, D, regards de la cheminée pour le nettoyage, l'enlèvement de cendres entraînées; F, regards pour régulariser la couche de combustible.

descend le long de ce plan incliné jusqu'à la grille déposée au fond, et où se produit la combustion. Le résultat de cette combustion est de l'acide carbonique à une haute température, et si ce produit de la combustion pouvait passer

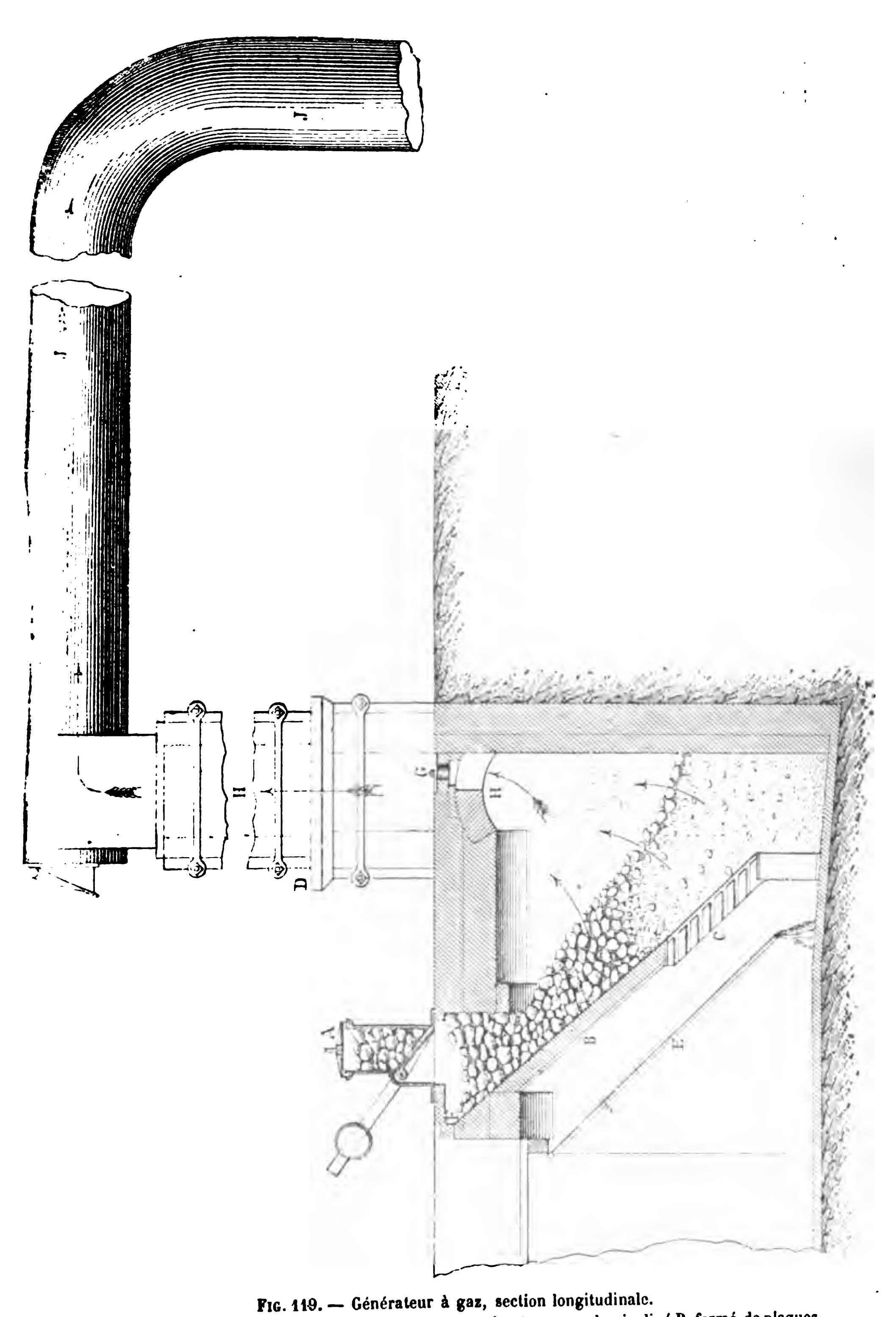


Fig. 119. — Générateur à gaz, section longitudinale.

A, trémie de chargement; F, couche de charbon tombant sur un plan incliné B, formé de plaques de fonte, garnies de briques réfractaires; C, barreaux en fer permettant l'accès de l'air; E, écoulement d'eau préservant la grille et devant se décomposer en O + H; H, échappement des gaz montant par la cheminée en briques H et se rendant aux régénérateurs du four par le conduit en tôle J.

par le conduit collecteur du gaz et se rendre au four, il n'y aurait aucune combustion; le seul résultat que l'on verrait se produire serait que le tuyau en tôle rougirait rapidement et se brûlerait. Mais comme l'acide carbonique est formé près de la grille, il rencontre une autre couche de combustible qui descend du dessus, laquelle est aussi incandescente, mais qui ne peut se brûler dans les mêmes conditions, parce qu'il n'y a plus d'oxygène libre présent. Le premier résultat de la combustion étant l'acide carbonique, composé d'un atome de carbone et de deux d'oxygène, cet acide carbonique, en passant sur les couches subséquentes de combustible incandescent, reprend une seconde molécule de carbone et se change en oxyde de carbone, gaz combustible. Mais la houille n'est pas du carbone pur; elle renferme des matières volatiles, des hydrocarbures, de l'eau, les éléments de l'ammoniaque, et l'oxyde de carbone chaud, en passant à travers une autre épaisseur de combustible qui renferme des principes volatils, agit sur eux de la même manière que la chaleur sur le charbon dans une cornue à gaz. Cette réaction absorbe une portion de la chaleur libre de l'oxyde de carbone, et il en résulte un gaz consistant en oxyde de carbone, hydrogène, hydro-carbures, vapeur d'eau et azote. Ce dernier gaz, qui est un des éléments de l'air, pénètre naturellement à travers le combustible et entre environ pour moitié dans le volume total du gaz. Ce mélange gazeux sort du gazogène, non pas à la température de 1600 degrés, mais environ à 400 degrés seulement. La chaleur restante est dispersée et cela à dessein, et cette perte apparente résultant de l'emploi du four à gaz et à régénérateurs, a donné lieu à beaucoup de critiques, bien qu'il soit facile de prouver que, bien qu'il y ait de la chaleur qui disparaît, il n'y a cependant pas de perte finale.

Les gaz sortant du gazogène pourraient être chassés mécaniquement dans le four, mais cela serait très gênant et très coûteux, et les 400 degrés de température sont utilisés pour faire cheminer les gaz vers le four. La colonne de gaz chauds qui s'élèvent dans la cheminée montante à une température d'environ 400 degrés, a une densité qui est environ la moitié de celle des mêmes gaz à la température ordinaire. De la cheminée montante les gaz passent par un long tuyau en tôle de fer, dans le trajet duquel ils perdent la plus grande partie de leur chaleur, de sorte que, quand ils arrivent à la descente, leur température s'est abaissée d'environ 400 degrés à 100 degrés, ils ont perdu environ 300 degrés par la radiation du tube. Il en résulte que la colonne descendante pèse à peu près deux fois autant que la colonne montante, ce qui assure un écoulement constant du gaz, lequel monte d'un côté et descend de l'autre, en se rendant au four. On voit donc que la chaleur du gaz qui paraît perdue est utilisée pour produire un effet mécanique utile.

Si l'on suppose que le gaz passe du gazogène au four, sans être refroidi, qu'en résultera-t-il? Le gaz entrera dans le régénérateur à une température non pas de 100 degrés, mais bien de 400; il prendra, en montant, plus de chaleur et entrera dans la chambre à chauffer à la température qu'ont acquise précédemment les rangs supérieurs de l'empilage par suite de la descente des produits de la combustion. Le gaz atteindrait encore cette même température s'il entrait à 100 degrés; la seule différence serait que le régénérateur, dans le cas du gaz froid, lui communique 200 degrés de température en plus. Mais l'économie produite

par le régénérateur sera la même dans les deux cas; par conséquent, cette quantité de chaleur, si on pouvait l'économiser, ne serait pas un gain pour le four à gaz. La seule différence serait que les gaz se refroidiraient d'autant moins, en descendant pour se rendre à la cheminée, et que celle-ci serait chaude au lieu d'être relativement froide. Donc il n'y a pas de perte pour le four à refroidir le gaz tandis qu'il se rend au régénérateur, et sa température est utilisée très avantageusement pour déterminer son mouvement de cheminement vers le four.

L'action économique du four est due à ce que les produits de la combustion arrivent à la cheminée, non pas à la température même de la chambre du four, comme c'est le cas dans les fours à chauffage direct, mais à une température qui ne dépasse pas 150 à 180 degrés: ce qui assure l'utilisation presque complète de la chaleur produite par la combustion.

Il est facile dès lors de comprendre que l'économie de ce système doit être considérable lorsqu'il s'agit de fondre de l'acier ou de faire d'autres opérations exigeant de très hautes températures tandis qu'elle est moindre lorsqu'on n'a à développer que de basses températures, comme c'est le cas des chaudières à vapeur. Comme exemple de résultats économiques démontrés par la pratique, on peut citer ce fait que pour fondre de l'acier en creuset dans les fours ordinaires, il faut près de trois tonnes de coke pour fondre une tonne d'acier, tandis que pour la fondre dans les mêmes pots chauffés dans un four à gaz et à régénérateur, il suffit d'une tonne de charbon menu. Dans la fusion de l'acier sur sole, la consommation est encore plus faible et est réduite à 600 kilogrammes de houille pour 1000 kilogrammes d'acier fondu. Pour la fusion du verre, il y a des fours dans lesquels la consommation de houille est inférieure à 1 pour 1 de verre fabriqué, tandis que dans les anciens fours elle s'élève à 2 et 3.

Dans de grandes usines où l'on produit des masses considérables d'acier fondu, ou du verre sous diverses formes, on établit généralement une batterie de gazogènes en dehors des halles, et le combustible y arrive par une voie de chemin de fer élevée d'où on le charge au fur et à mesure des besoins dans les gazogènes, le gaz se rendant par de larges tuyaux aériens aux différents fours qu'il s'agit de chauffer (1).

La pratique nous a démontré que, pour la production du gaz destiné au chauffage des fours Siemens, les houilles sèches à longues flammes sont préférables.

Voici une analyse moyenne du gaz des fours de Saint-Gobain:

	Volumes.		Poids.	
Oxyde de carbone	24,2	34,6	23,629 — 25,888	27,841
Hydrogène	8,2		0,567 — 0,621	
Hydrogène protocarboné	2,2		1,216 — 1,332	
Acide carbonique	4,2	65,4	6,421 — 7,035	72,159
Azote	61,2		59,444 — 65,124	
	100,0		100,000	

(1) Consultez la petite brochure de M. C. W. Siemens sur la *Construction et conduite du four à gaz et à chaleur régénérée*. Paris, Dunod, 1868.

Partant de ces données, de la quantité de houille brûlée, et de la composition de la houille qui est :

Carbone....	84,380
Hydrogène..................	6,168
Oxygène....................	6,898
Azote, etc.................	2,554
	100,000

des quantités de gaz produites par 100 kilogrammes de cette houille :

Oxyde de carbone...........	155,874
Acide carbonique...........	42,386
Hydrogène protocarboné.....	0,023
Hydrogène..................	3,741
Azote......................	392,145
	594,169

on arrive à conclure que ces gaz en brûlant sont susceptibles de donner environ 1700 degrés (1728) de chaleur.

W. Siemens a apporté une modification au gazogène primitif et a construit un appareil (fig. 120) qui, sans rien perdre de la simplicité du gazogène décrit ci-dessus, donne un gaz d'une puissance calorifique plus élevée. Ce générateur consiste en une chambre cylindrique *a* en fer, conique à la partie inférieure et garnie de briques réfractaires. Le combustible à convertir en gaz est introduit par l'extrémité *b*, les cendres et les scories se retirent par le fond de l'appareil. Au lieu d'un appel d'air venant de l'atmosphère par une grille, on injecte par la trémie ou par le fond de l'appareil un courant d'air chaud, au centre même de la masse du combustible, de manière à développer en ce point une chaleur très intense. Après sa descente à travers la trémie, le combustible arrive graduellement à cette région de chaleur intense *c*, où il se dépouille de ses constituants gazeux. Au point de chaleur maxima, le carbone se brûle en produisant de l'acide carbonique, qui, en traversant l'épaisseur considérable du combustible tout autour de ce point, s'empare d'un nouvel élément de carbone, et se tranforme en oxyde de carbone. L'air pénètre un peu par cette ouverture au bas du générateur, et achève d'y brûler toutes les matières carbonisées qui auraient traversé la zone de la plus grande chaleur. Enfin, l'eau qui se trouve dans le cendrier *d* monte, après s'être vaporisée par la chaleur des cendres, à travers la masse incandescente, et se convertit, par décomposition, en oxyde de carbone et en hydrogène. Les orifices de sortie des gaz *e* sont placés tout autour, à la circonférence de la chambre, ils dirigent les gaz vers le haut, dans un espace annulaire *f*, d'où ils sont amenés par des tuyaux aux fours. L'avantage de ce mode d'opérer tient à l'intensité de la chaleur produite au centre de la masse, grâce à laquelle la totalité du combustible est convertie en gaz à brûler ne renfermant que la moindre quantité possible d'azote. Les hydrocarbures formés à la partie supérieure de l'appareil ont à descendre à travers la masse ardente du combustible ; le goudron et les autres vapeurs mélangées à ces hydro-carbures se décomposent alors en fournissant des gaz combustibles permanents.

On peut agrandir l'ouverture au fond de l'appareil, et la disposer de façon à

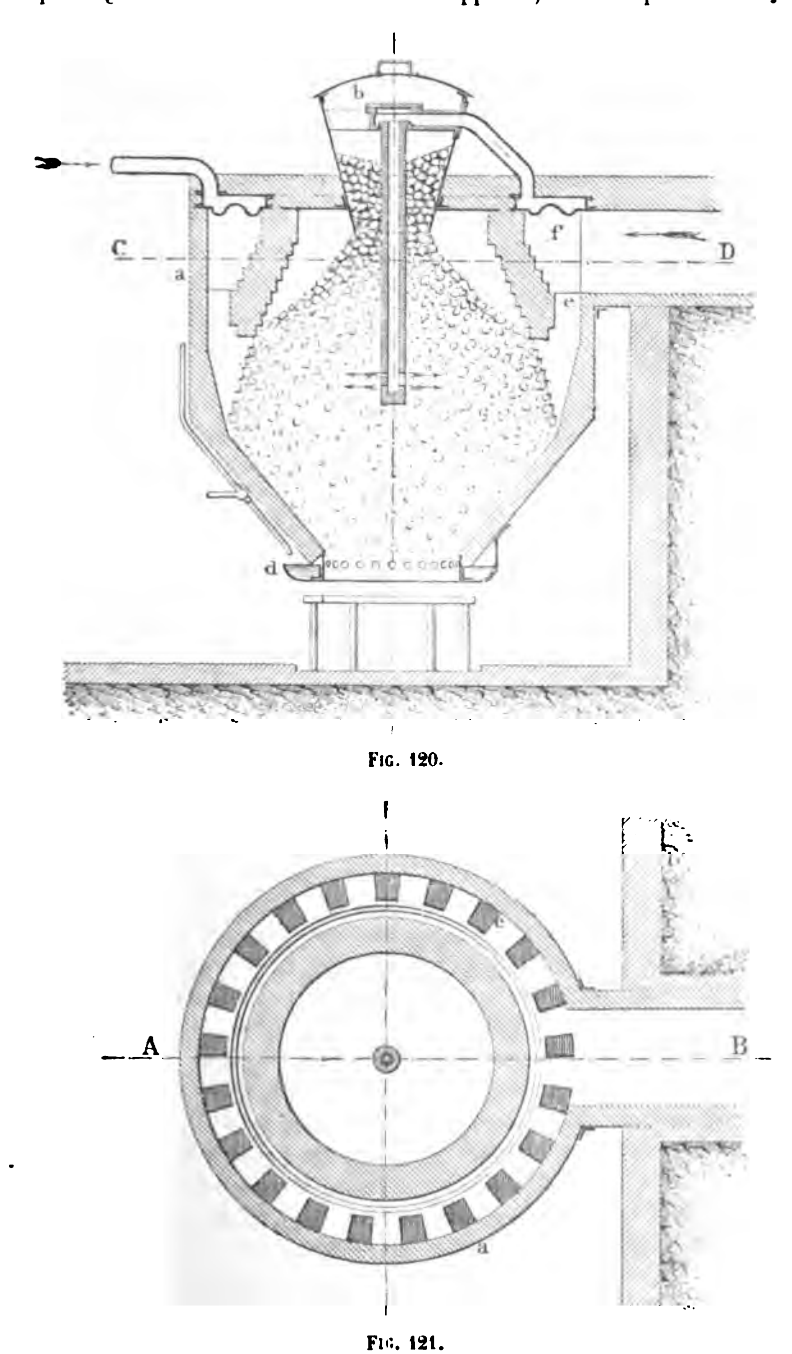


FIG. 120.

FIG. 121.

en retirer le coke en même temps que les cendres ; l'appareil devient ainsi une

sorte de four à coke continu, en même temps qu'un générateur de gaz, c'est-à-dire un système dans lequel les constituants solides et gazeux du combustible sont entièrement convertis.

L'intensité de la chaleur, au centre même de la grande masse de combustible, en occasionne une distillation très rapide, de sorte qu'un de ces appareils peut produire le travail de deux ou trois générateurs ordinaires.

M. C. W. Siemens vient de modifier encore, tout récemment, le gazogène que nous venons de décrire ; le but qu'il s'est proposé d'atteindre est le même, mais cette dernière construction a semblé plus pratique et a été adoptée en dernier lieu.

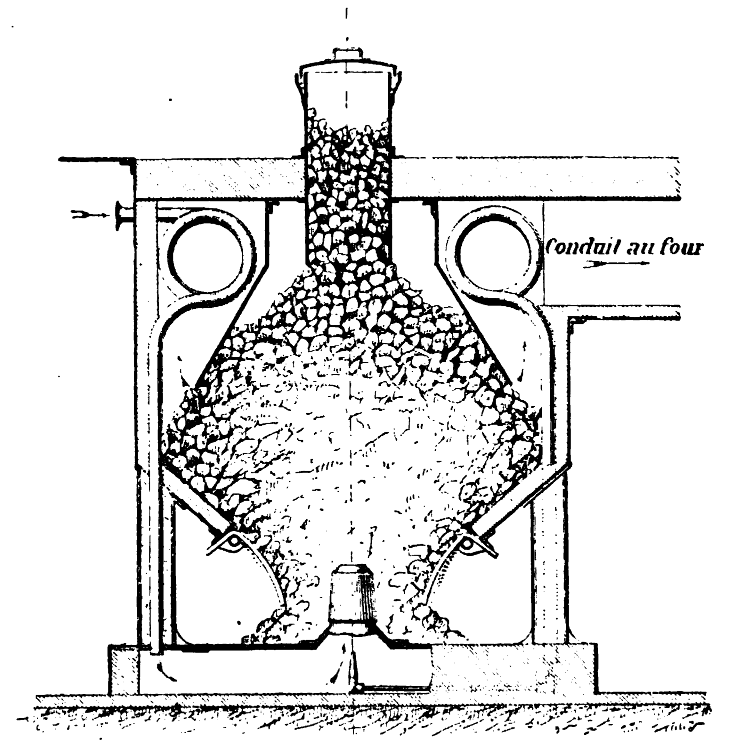


FIG. 122.

La conduite des fours Siemens se résume comme suit :

Règlement de l'air et du gaz, à l'aide des soupapes d'admission ; le rapport entre leur levée variant avec la nature de la flamme, avec le tirage, etc. ;

Règlement de l'intervalle entre les inversions des valves ;

Maintien du tirage à sa plus faible limite, de manière à avoir toujours un léger excès de pression de gaz à l'intérieur ;

Enfin, nettoyage fréquent des grilles ; le combustible devra toujours être au rouge clair, les masses et les cendres non fondues devront être retirées régulièrement au bas du générateur.

En outre de la possibilité d'arriver à une température presque illimitée, sans grand tirage, l'économie de combustible, résultant des fours Siemens, a été

estimée de moitié, même lorsqu'on emploie le même charbon, soit directement dans le four, soit dans le producteur de gaz.

On obtient plusieurs autres avantages et entre autres une grande pureté de flammes, exemptes de suie, de cendres et de poussières;

Une réduction dans l'espace occupé par les ateliers et une grande propreté dans le travail, le combustible étant converti en gaz, en dehors des bâtiments;

La possibilité de régler à son gré l'intensité de la flamme, ainsi que sa composition chimique; de la supprimer instantanément ou de changer son pouvoir oxydant en un pouvoir réducteur, et réciproquement.

Un des inconvénients avec des gaz provenant des houilles grasses, c'est l'engorgement des conduites par des goudrons; on consacre quelques heures toutes les semaines, au moment de l'arrêt périodique, à brûler les dépôts d'un bout à l'autre des conduites.

Une des parties délicates du four Siemens, c'est la valve de renversement du courant de gaz. Cette valve, en fonte, se casse quelquefois, elle ne ferme plus suffisamment, de là une perte de gaz ou une irrégularité dans l'allure du four, puis cette valve rougit même, et casse, par suite d'une combustion qui s'y produit, à cause du défaut d'obturation. Pour éviter ces ennuis on remplace cette valve en fonte par une valve également en fer et tôle, mais à fermeture hydraulique. (Voy. le plan de cette valve qui est employée chez M. Siemens, à Elbogen, à Dresde, et dans d'autres verreries, pl. VI et VII).

Quant aux critiques relatives à l'extrême délicatesse des fours Siemens, aux brusques alternatives de chaleur, aux irrégularités de température dans les fours, etc., elles n'accusent sans doute que l'inexpérience dans la construction ou dans la manière de conduire ces appareils.

En résumé, on a constaté lors de la première application du système Siemens à l'industrie des glaces, une économie certaine de 45 pour 100 de combustible comparativement à la consommation des anciens fours. C'est donc là un progrès considérable réalisé par M. Siemens dans la fabrication du verre en général et des glaces en particulier.

On a construit des fours Siemens à huit, à douze, à seize, dix-huit, vingt et vingt-quatre creusets.

Je crois ceux à seize ou dix-huit creusets, préférables; ces fours consomment moins de charbon que ceux à douze creusets et chauffent plus régulièrement que ceux à vingt et vingt-quatre pots (pl. VIII).

Le four Siemens diffère de l ancien four à grilles par ses dimensions et par les matériaux qui y sont employés.

Deux rangées de piliers en grosses pierres réfractaires pleines, supportent la voûte; ces piliers sont assez écartés l'un de l'autre pour permettre l'entrée et la sortie des creusets, deux pignons ferment le four.

La sole du four est construite en dalles réfractaires; elle repose sur des canaux A où circule, pour la rafraîchir, l'air ambiant. Cette sole repose sur des voûtes A' qui font partie des chambres constituant les régénérateurs B de chaleur, lesquels sont remplis aux 4/5 de leur hauteur de briques réfractaires empilées à claire-voie pour laisser libre le courant de l'air, des gaz et des produits de la combustion, dont elles recueillent la chaleur perdue.

Tous les six mois il faut renouveler cet *empilage*, dont la partie inférieure s'est remplie de poussières et la partie supérieure de matières vitrifiées. La sole est percée d'un certain nombre de trous, placés tantôt dans l'axe du four — l air et le gaz alternant — tantôt aux quatre angles C comme il est indiqué à la planche VIII. Par ces ouvertures de gaz et d'air, le verre, provenant du débord des creusets, des matières vitrifiables tombées en dehors des creusets pendant les enfournements, s'écoule également pour tomber dans des chambres spéciales D, placées généralement entre les régénérateurs de chaleur. La sole de ces chambres est inclinée de manière à forcer le verre à se rendre à la partie inférieure, où on le fait écouler chaque jour, pendant le tise froid (ou braise), c'est-à-dire pendant la période d'arrêt qui précède la coulée du verre à glaces. Le verre qui s'écoule par ces ouvertures est impur, impropre aux mélanges vitrifiables du verre à glaces, c'est un résidu de fabrication.

Les portes d'entrée du four E correspondent généralement à deux creusets ; ces portes sont munies, en France du moins, de deux petites ouvertures circulaires F de 3 centimètres environ de diamètre. Ces ouvertures, bouchées avec des tampons d'argile pendant le travail du verre, servent à soulever et enlever la « tuile d'ouvreau » à l'aide d'une sorte de petite fourche à deux dents, posée sur un chariot, cet outil est nommé « cornard » (fig. 123). Grâce à ces ouvertures et à cet outil, on enlève la dalle au moment de sortir les creusets.

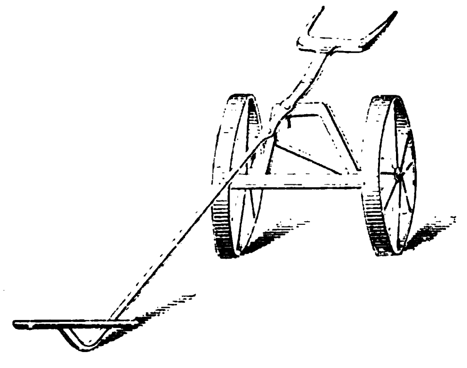


FIG. 123.

En Belgique, on *lève* les portes des ouvreaux des fours, à l'aide d'un mécanisme indiqué planche X, mécanisme dont le point d'appui est sur les pignons du four. L'ancrage du four doit être excessivement solide.

Il n'est pas indifférent de donner à la voûte une forme quelconque : d'après Loysel, on ferme le four au-dessus par des arcs en ellipse.

En général, la hauteur de la voûte (le demi-petit axe de l'ellipse) est prise environ égale au tiers de la portée et la stabilité obtenue est parfaite.

La résistance de la voûte dépend aussi beaucoup de la qualité des matériaux réfractaires.

La durée d'un four Siemens est d'une année, quelquefois de dix-huit mois, au bout desquels il faut renouveler la partie supérieure au-dessus du sol de la halle,

c'est-à-dire la construction sauf les voûtes, les régénérateurs, les gazogènes, les conduits, qu'il suffit de réparer.

Afin d'apprécier les degrés de chaleur obtenus aux différentes phases de la fusion, il est nécessaire de traiter des différents moyens en usage pour connaître, ne fût-ce qu'approximativement, la température des fours. Afin de ne pas trop allonger cet article, nous avons consacré un chapitre spécial à ce sujet.

Indépendamment, je dirai même concurremment au four Siemens, il existe d'autres systèmes de fours chauffés par le gaz. N'ayant pas expérimenté ces divers fours, nous devrons baser notre appréciation sur ce qui nous en a été rapporté par les inventeurs, par les industriels chez lesquels ces fours ont été appliqués.

Des différents fours à gaz. — Le four Boëtius constitue un réel progrès sur les anciens fours à grilles. Boëtius emploie le tirage naturel, mais il place la cheminée d'appel au-dessus du four de fusion. Le chauffage de l'air a lieu à l'aide de la chaleur communiquée par le foyer des générateurs à un massif de maçonnerie qui sépare les deux générateurs et qui est traversé par les courants d'air.

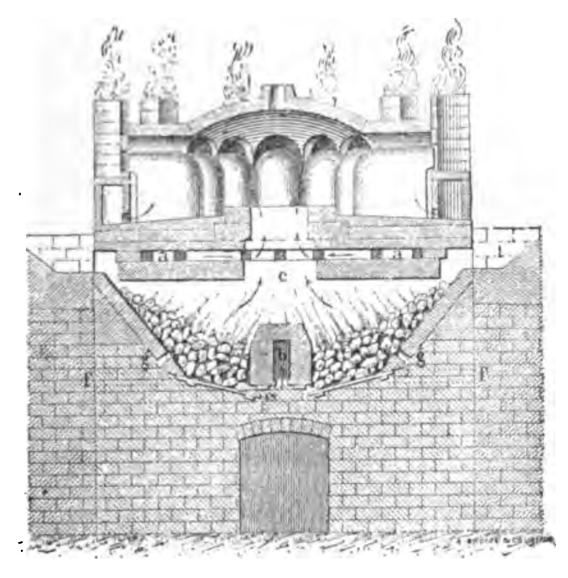


FIG. 124.

Voici un croquis indiquant les dispositions d'un des fours qui ne comporte pas de régénérateurs.

Le gaz produit en I, monte directement au four; l'air s'échauffe, passe par le conduit *b*, placé entre les deux générateurs, et formant en quelque sorte autel, et par les conduits *a a* sous la tôle du four. Les produits de la combustion montent à la voûte et de là sont aspirés par des cheminées ménagées dans les piliers du four, ou par une cheminée ou hotte spéciale placée au-dessus

de la couronne du four. La chaleur du four est réglée par la hauteur de la couche de charbon des générateurs, par le décrassage des grilles, par le plus ou moins d'ouverture de la prise d'air en K au-dessus des barreaux des grilles. Dans ce four il n'y a pas, on le voit, de valve de renversement de gaz. Le four Boëtius est d'une assez grande simplicité, d'une installation peu coûteuse, il permet de réaliser sur les anciens fours à grilles une économie de 30 pour 100 environ de combustible. M. Tock, directeur de la verrerie de Mariemont (Belgique), a apporté récemment une heureuse modification à ce système de four. Cette modification consiste à utiliser le calorique des gaz brûlés, ce qui porte l'économie de 30 à 40 pour 100 d'après l'auteur. Les cristalleries du Val-Saint-Lambert utilisent, du reste, depuis quelques années, les gaz brûlés pour produire de la vapeur (pl. XI).

Four à gaz, système Pellatt-Rickman. — Un système très simple de fourneau à gaz, sorte de four Boëtius, a été imaginé par M. Pellatt-Rickman ;

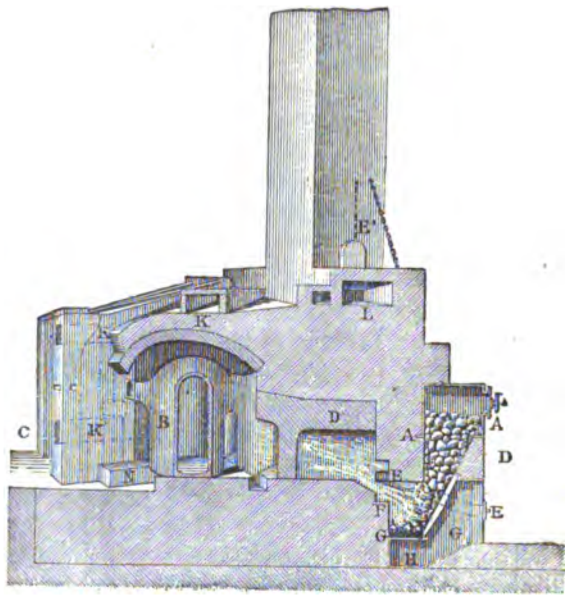


FIG. 125.

l'adoption de ce système procure une grande économie dans la construction du four de fusion et une économie aussi grande de combustible. Ce fourneau est représenté figures 125 et 126 ; la figure 125 montre une coupe verticale suivant la ligne A B et la figure 126 une coupe horizontale suivant la ligne C D.

Le générateur à gaz consiste en une chambre remplie de combustible, sous laquelle se trouve une chambre à gaz ; sous celle-ci est placé le foyer, avec carneaux pour les gaz et pour l'air. Les trois chambres communiquent verticalement, de sorte que le combustible tombe dans la chambre à gaz et que le coke formé dans cette dernière tombe lui-même dans le foyer.

A est la chambre où le combustible est enfourné; B est la chambre où le gaz se forme; C est la grille; D, la chambre de combustion dans laquelle le gaz et l'air se mélangent; E sont les carneaux conduisant à la chambre de combustion; F est la gueule du fourneau; G, une porte pour nettoyer la grille; H, le cendrier; I, l'ouverture servant à introduire le combustible; K, sont les carneaux du four conduisant à chaque pot; L est le carneau général reliant tous les précédents; B′ sont les pots; N, les carneaux sous les pots, et E′ est la cheminée.

Le gaz distillé en B descend et rencontre l'air qui pénètre à travers la grille,

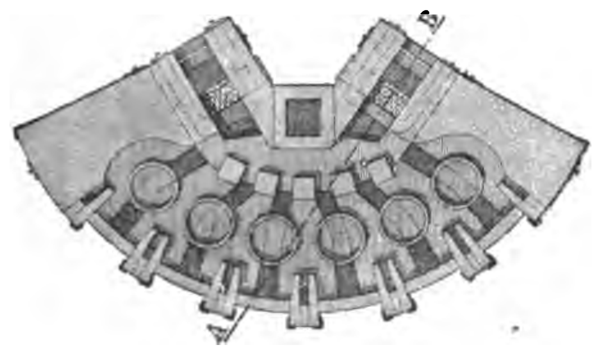


FIG. 126.

brûle en partie et entre en pleine combustion en D, mélangé avec l'air qui s'est introduit par E et F. Les conduits d'air sont maintenus chauffés au rouge, de sorte que la chambre de combustion est alimentée par de l'air chauffé à une haute température. Si l'on a besoin dans le four d'une flamme réductrice, les conduits d'air sont fermés en totalité ou en partie. Avec la houille employée ordinairement dans les chaudières, le nettoyage de la grille en G a lieu au bout de dix à douze heures.

Ce fourneau a fonctionné avec succès à Londres depuis quelque temps; le système est fumivore, facile à desservir et la température est réglée avec la plus grande précision. Pour un four à six pots, chacune des grilles a $0^{m},50$ sur $0^{m},60$ et brûle environ $0^{kil},7$ de houille par décimètre carré et par heure; chaque foyer renferme environ 100 kilogrammes de houille et doit être chargé toutes les cinq heures.

M. Nehse supprime les conduites en tôle menant les gaz au four dans le système Siemens; le générateur à gaz est mis en relation immédiate avec la chambre du four. Les gaz obtenus dans les générateurs sont à une température qui ne doit pas être inférieure à 1000 degrés, afin d'éviter en quelque sorte la formation des hydrocarbures. Les courants sont constants et il n'y a pas de renversement de flamme; l'introduction de la flamme dans le four se fait par un certain nombre d'ouvertures, variant d'après les dimensions du four, et cela aussi bien dans le siège que dans les murs d'enceinte du four.

Le seul avantage que nous constations dans l'emploi de ce four, c'est une certaine simplification de construction; l'avantage de son fonctionnement par rapport aux fours Siemens ne nous est pas démontré.

Un ingénieur, spécialiste constructeur, M. Radot, et son collaborateur, M. A. Lencauchez (1), ont appliqué à divers fours de verrerie leur système de chauffage par le gaz. Tout four de verrerie chauffé par le gaz se compose de trois parties distinctes : gazogène, récupérateur, et four proprement dit.

Chacune de ces parties peut être adaptée à un appareil différent et constituer ainsi un four qui souvent prend le nom de l'industriel ayant accompli, modifié, transformé, l'une ou toutes les parties de l'appareil ainsi reconstitué.

La forme du gazogène varie suivant la nature du combustible employé. Nous

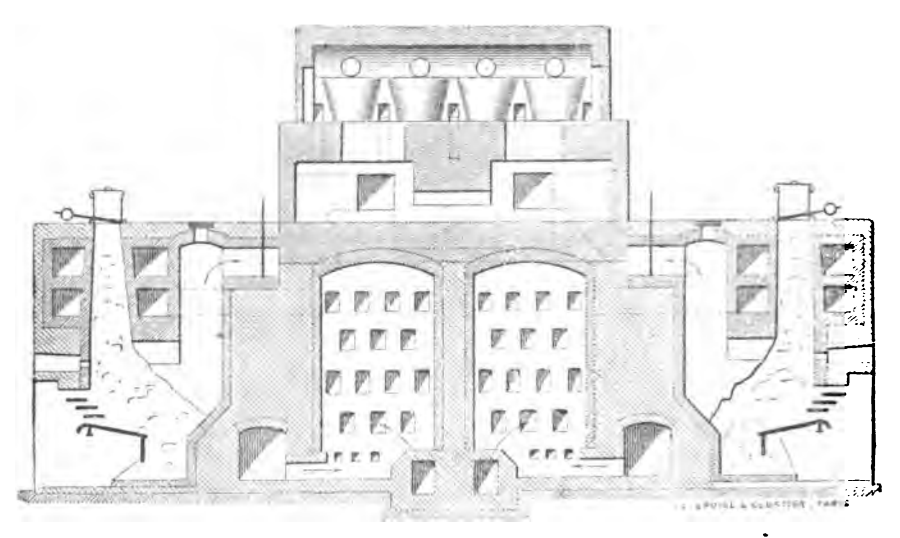


Fig. 127.

avons donné précédemment le dessin d'un gazogène, généralement employé. Il y a quelques années, un ingénieur allemand, M. Lurmann, a imaginé un système de gazogène, distillateur, à enfournements automatiques. Cet appareil est rationnel théoriquement, il a eu comme tous les systèmes un peu compliqués, ou dans lesquels le mécanisme n'est pas soumis à des soins spéciaux, l'inconvénient d'être rejeté par la pratique industrielle. Un ingénieur français, M. Lencauchez, a du reste revendiqué dernièrement à la Société des ingénieurs civils de Paris la priorité pour ce système de distillation et de production de gaz. Nous donnons seulement ici le dessin de ce gazogène dans lequel on produit d'abord sur le plan incliné des gaz riches en hydrocarbures, puis dans le corps du gazogène, en *e*, des gaz riches en CO (pl. XII).

La seule objection que nous faisons à cet appareil, c'est l'emploi de l'air soufflé nécessitant l'adjonction d'un ventilateur, ce qui est une complication, mais l'idée qui préside à cette construction est très rationnelle. On a beaucoup

(1) M. Lencauchez est l'auteur d'une étude sur les combustibles en général, et sur l'emploi au chauffage par les gaz, étude à laquelle nous avons fait quelques emprunts et que nous sommes heureux de citer ici en témoignant à l'auteur notre gratitude pour ses renseignements empressés et obligeants. Éditée chez Lacroix, Paris.

discuté sur l'emploi de l'eau aux grilles des générateurs; dans le cas particulier qui nous occupe, nous considérons l'emploi de l'eau, aussi divisée que possible, comme très avantageux.

Pour transformer la houille en gaz, il faudrait en principe: 1° sécher la houille; 2° la distiller pour lui faire dégager son gaz brut d'éclairage (ses carbures d'hydrogène); 3° gazéifier le coke obtenu, le transformant ainsi complètement en oxyde de carbone sans production d'acide carbonique. Ce résultat est loin d'être atteint dans la pratique.

Les agglomérations de charbon, les crasses ou mâchefer, obligent à tisonner fréquemment la masse du combustible; de là des rentrées d'air qui viennent brûler une partie importante des gaz combustibles produits et donnent lieu à la formation d'acide carbonique.

Ce gazogène distillateur Lencauchez permet d'obtenir avec des charbons menus demi-gras, des résultats satisfaisants comme qualité de gaz et comme consommation de combustible.

Voici des analyses de gaz qui édifieront sur la valeur de cet appareil:

	Chiffres de l'auteur.	
	Gazogène ordinaire.	Gazogène distillateur.
Oxyde de carbone	23,5	37,0
Hydrogène	8,0	8,3
Hydrogène carboné	2,5	6,5
Acide carbonique	3,1	2,0
Acide sulfureux	1,0	1,0
Oxygène libre	0.4	0,2
Azote	61,5	45,0
	100,0	100,0

Puissance calorifique, 1146 calories, 1810 calories au mètre cube prise à zéro et à la pression 76. Poids, 1 kil,200.

Récupérateur. — Le récupérateur de chaleur est un appareil à air chaud, ou calorifère, construit entièrement en briques réfractaires, et dans lequel on peut élever la température de l'air jusqu'aux degrés les plus élevés, sans aucune altération des parois, ce qui le distingue des calorifères ordinaires généralement en fonte ou en fer.

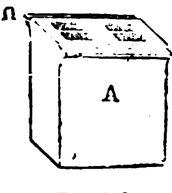


Fig. 128.

Il est facile de se rendre compte de son ensemble et de sa simplicité, par le dessin ci-contre. Il est composé de poteries creuses réfractaires A à quatre

trous, toutes semblables, de forme rectangulaire, munies, à leur partie supérieure, sur deux de leurs côtés, de nervures horizontales *n*. On les élève par rangées

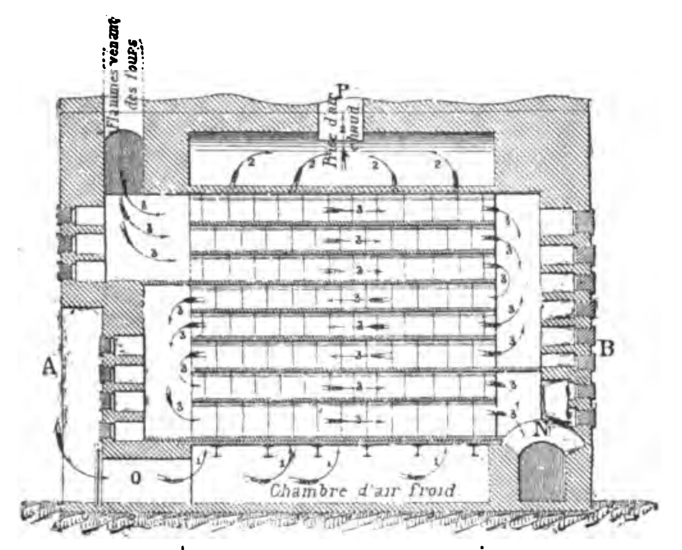


Fig. 129.

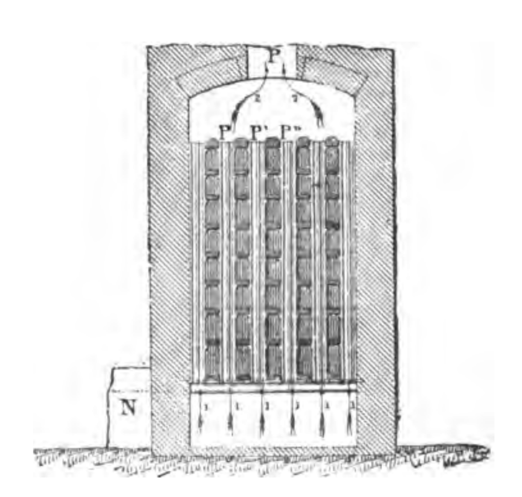


Fig. 130.

1 Air froid
2 Air chaud
4 Gaz brûlés venant des fours.

espacées P, P', P''(fig 130), etc., les unes au-dessus des autres, sur un plancher F formé de plaques réfractaires ou de fonte, perforées de trous correspondants. On les juxtapose avec du mortier réfractaire très liquide, en ayant soin de croiser les

joints de manière à présenter une construction solide. Chacune de ces rangées de poterie se trouve séparée des voisines par des rangées horizontales de briquettes *b*, *b'*, *b''*, etc., formant entretoises et reposant sur les nervures.

On a ainsi, d'une part, une série de canaux verticaux, formés par les trous des poteries, dans lesquels s'élève l'air à chauffer, et, de l'autre, une série de canaux horizontaux superposés, formés par les rangs de briquettes et les parois extérieures des poteries, dans lesquels circule la fumée.

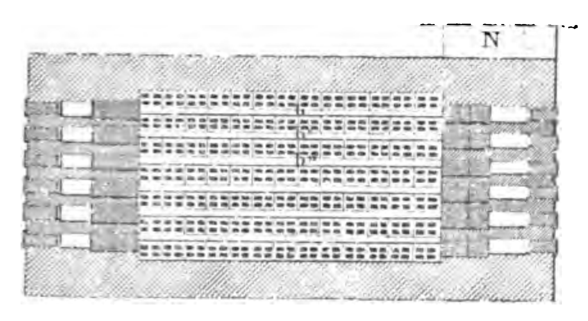


Fig. 131.

Les flammes qui sortent du four se distribuent d'abord dans les conduits supérieurs horizontaux.

Parvenues à leur extrémité, elles trouvent des orifices par lesquels elles descendent dans le second rang de ces conduits, qu'elles parcourent, en sens inverse de leur premier mouvement, et ainsi de suite, pour arriver aux rangs inférieurs, d'où elles s'échappent refroidies, pour se rendre à la cheminée.

L'air froid pénètre à la partie inférieure, sous le plancher supportant la masse de l'appareil; des registes règlent, une fois pour toutes, son introduction. De là il se distribue dans les conduits verticaux des poteries, où il s'élève et s'échauffe graduellement. Il en sort, après avoir léché les parois les plus chaudes, pour se rendre, par les conduits P, à la chambre de combustion.

Le nombre des rangées horizontales ou verticales de poteries dépend évidemment de la proportion d'air à chauffer ou de gaz à refroidir, et on comprend facilement qu'on peut le faire varier, sans changer la forme ni le principe de l'appareil.

Des tampons, placés à chaque extrémité des carneaux où circule la fumée, permettent un nettoyage facile, même pendant la marche.

Les récupérateurs Radot sont construits d'une manière logique; ils sont composés de peu de pièces, leur assemblage offre tout au plus 1/20 des joints développés dans d'autres appareils semblables, joints qui ne peuvent bâiller puisqu'ils sont tous horizontaux et bien entretoisés par de triples couvre-joints.

La surface de chauffe de l'air est d'environ 12^{m^2} par mètre cube de récupérateur, dont le poids est de 600 à 650 kilogrammes.

Nous donnons ici la description de deux systèmes de récupérateurs construits sur le même principe.

Récupérateur Ponsard (fig. 132 et 133. — Il se compose d'une première série d'intervalles *b* dans lesquelles circulent les gaz brûlés chauds provenant du four, et d'une seconde série *c* dans laquelle passe l'air à chauffer de telle sorte que chaque chambre verticale d'air soit toujours comprise entre deux chambres semblables de fumées et réciproquement. Dans la disposition la plus généralement employée, toutes les cloisons sont entretoisées par des briques, pour la plupart creuses, formant chicanes sur différentes assises en hauteur. Ces chicanes sont destinées à présenter beaucoup de surface aux fluides, et de plus, elles établissent entre les diverses chambres des communications qui augmentent encore la surface de chauffe. Remarquons que ces briques sont juxtaposées, c'est-à-dire jamais placées au bout les unes des autres de telle façon que le récupérateur peut subir des efforts de dilatation et de contraction sans jamais être exposé à aucune dislocation, et de plus ces efforts s'exerçant partiellement sur des pièces très courtes n'ont aucun effet sur les joints.

Dans le récupérateur le chauffage est méthodique; les gaz brûlés arrivent en effet par le haut, descendent dans les compartiments qui leur sont destinés et s'échappent ensuite dans la cheminée; l'air froid, au contraire, pénètre par la partie inférieure, s'élève dans les compartiments intermédiaires en s'échauffant graduellement, et sort après avoir léché les parois les plus chaudes pour se rendre dans la chambre de combustion. Un registre placé en avant des canaux d'air inférieurs permet de régler à volonté l'arrivée de l'air froid dans le récupérateur.

Ainsi les gaz chauds descendent et par conséquent suivent tous les passages qui leur sont offerts. Quant à l'air froid il monte, et comme son volume s'accroît avec la température on peut admettre que lui aussi chemine par tous les conduits qui lui sont réservés.

Lorsqu'on a besoin de diviser l'air de façon à pouvoir en appliquer une partie quelconque à un but spécial, comme à l'alimentation du gazogène par exemple, il est facile de le faire : il suffit pour cela de remplacer une ligne verticale de briques creuses qui mettent les courants d'air en communication par une ligne verticale de briques pleines.

On a ainsi deux récupérateurs parfaitement distincts, quoique compris dans une même chambre, à la condition de placer deux registres d'arrivée au lieu d'un.

L'appareil ainsi construit a une grande puissance sous un petit volume. Un récupérateur en briques de dimensions ordinaires présente par mètre cube (calculé d'après les dimensions extérieures), une surface totale de 23 mètres carrés en moyenne, dont moitié pour le refroidissement des gaz brûlés et moitié pour l'échauffement de l'air.

Afin de rendre les joints verticaux parfaitement étanches, chaque brique chicane porte aux points de jonction une rainure de 30 millimètres sur deux à trois millimètres; de cette façon, en présentant deux briques l'une contre l'autre, elles donnent un vide que le mortier vient remplir, en formant comme un clavetage qui rend le joint étanche, et les briques ne peuvent s'écarter puisqu'elles sont juxtaposées et maintenues par les parois de la

chambre. D'ailleurs en admettant que par suite d'un long service le récupérateur présente quelques détériorations, l'inconvénient sera peu considérable; il n'y aura pas d'explosion à craindre puisque les deux fluides en présence sont de l'air et des gaz brûlés; il en résultera une température et

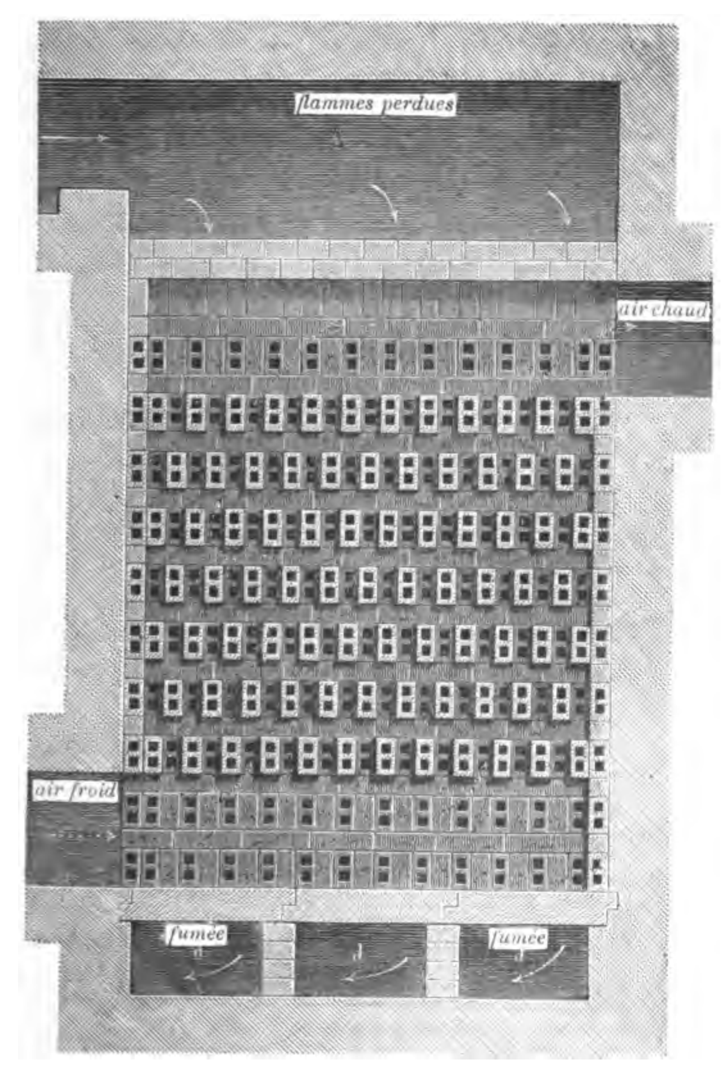


Fig. 132.

une pression moindre pour l'air et on devra réparer ou refaire le récupérateur lorsque cette température et cette pression seront devenues insuffisantes.

Pour effectuer cette réparation, il faut enlever l'une des quatre faces de la chambre du récupérateur qui donne sur une fosse juxtaposée. Ce mur de façade est percé de trous correspondant aux passages des fumées, trous fermés

par des briques et lutés pendant la marche. Il est donc toujours facile de vérifier l'état du récupérateur et de le nettoyer des poussières ou dépôts qui auraient pu s'arrêter dans les conduits de fumée. On fait tomber ces dépôts d'étage en étage au moyen d'un petit crochet muni d'une chaînette à son extrémité; ils se réunissent dans les grands canaux inférieurs, ou bien ils

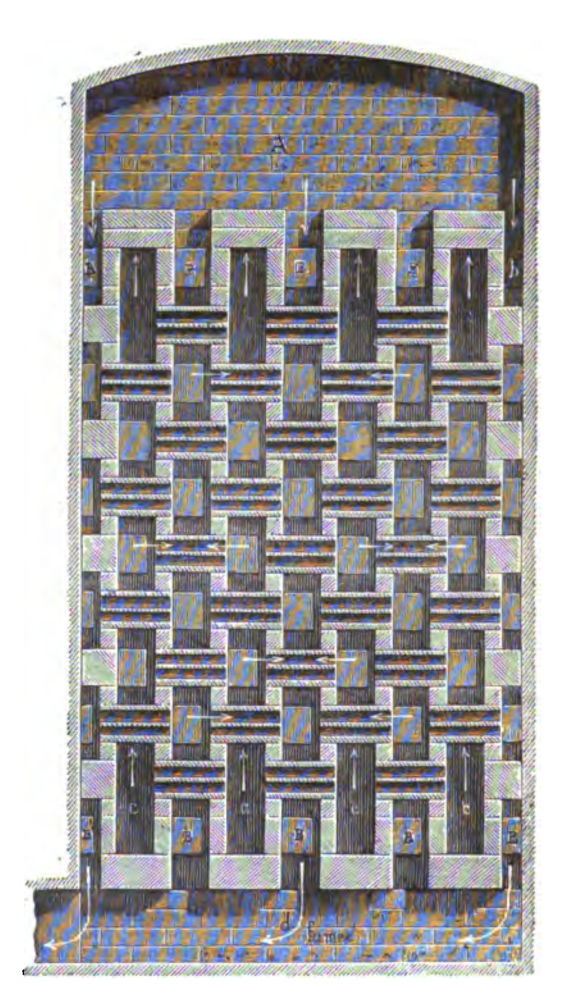


Fig. 133.

sont retirés à chaque étage, si on a eu le soin de placer un fer plat dans le trou de nettoyage situé au-dessous de celui par lequel on travaille.

Le nettoyage du récupérateur peut se faire en marche, mais il vaut mieux évidemment profiter d'un chômage pour faire cette opération.

Dans le récupérateur Ponsard, la transmission de chaleur se fait par la conductibilité à travers de faibles épaisseurs. La quantité de chaleur transmise dépend non seulement de la différence des températures, mais encore

du coefficient de conductibilité de la brique. Or comme le plus souvent l'appareil fonctionne à des températures élevées, il en résulte que la transmission se fait dans d'excellentes conditions puisque le coefficient de conductibilité des terres cuites augmente avec la température, et dans l'espèce ce coefficient est plus fort que ceux déjà déterminés par les physiciens.

Récupérateur Charneau. — Cet appareil a l'avantage de n'exiger pour sa construction aucune espèce de poterie ni brique creuse. La construction entière peut se faire sans inconvénients en briques courantes de $22 \times 12 \times 6$; néanmoins pour activer l'empilage, il est préférable d'employer un carreau à recouvrement de 230×230 dont l'épaisseur varie suivant la température exigée par le four.

Cette pièce unique peut être fabriquée par les intéressés en composition

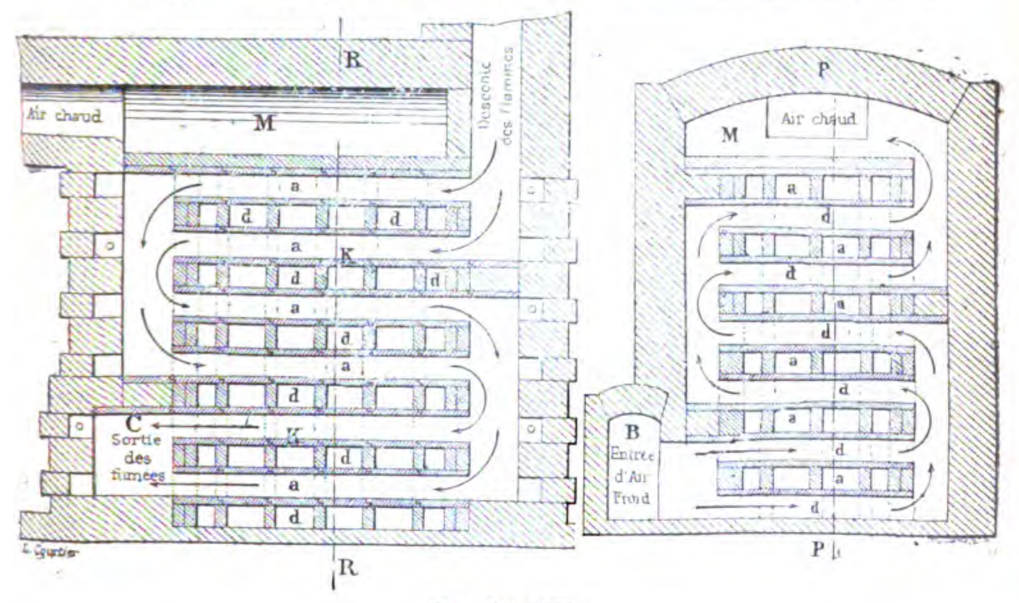


Fig. 134 et 135.

spéciale soit à la main, soit avec une petite presse à bras, avantage incontestable pour les maîtres de verrerie. Comme elle est plate, d'une épaisseur convenable, elle peut se cuire à une très haute température sans aucune crainte, et par conséquent elle offre une grande résistance sans dislocation aux variations de température du four.

La figure 134 est la coupe verticale de l'accumulateur dans le sens du passage des flammes perdues du feu.

La figure 135 est la coupe verticale dans le sens du passage de l'air à chauffer.

On voit que l'accumulateur se compose d'une série de petits conduits parallèles *a*, *a*, *a*, construits avec des briques de dimensions courantes, et dans les-

quels passent les flammes perduès du four qui circulent tout en descendant dans la masse de briques pour aller rejoindre la cheminée d'appel par le carreau C.

L'air à chauffer entre par le conduit B placé sur une des faces de la chambre en briques pour pénétrer dans l'appareil par une série de petits conduits parallèles horizontaux *d*, *d*, *d*, construits perpendiculairement sur ceux du passage des flammes; il monte en s'échauffant pour gagner la chambre d'air chaud M, et de là se rendre aux brûleurs par un ou plusieurs conduits. On voit à l'examen des dessins que chaque tranche d'air est enveloppée par deux tranches de flammes et réciproquement.

La séparation des flammes et de l'air à chauffer est obtenue par un carrelage établi au moyen des petits carreaux K à recouvrement ou avec des briques ordinaires. En raison des petits conduits qui sont construits perpendiculairement les uns sur les autres, les joints sont complètement étanches puisqu'ils sont couverts dans tous les sens par une épaisseur de briques pleines; il est donc matériellement impossible qu'il y ait communication entre les flammes et l'air à chauffer. Nous pouvons dire que c'est le seul appareil qui, malgré sa simplicité offre cet avantage.

L'avantage de ces systèmes de récupérateur unique est de chauffer l'air nécessaire à la combustion des gaz, à l'aide de la chaleur abandonnée par les produits de la combustion, chaleur laissée contre les parois que vient frôler l'air aspiré par le four. Ces récupérateurs occupent peu de place sous les fours et cela à cause de la suppression des interversions des courants gazeux, ce qui présente certains avantages au point de vue de l'économie de construction et au point do vue du travail plus régulier du verre à l'intérieur des fours chauffés de cette manière.

Cette continuité, ou plutôt cette uniformité dans l'arrivée du courant gazeux, présente l'avantage de chauffer toujours régulièrement tous les creusets par une flamme également répartie; elle supprime les chances d'inégalités de température entre les deux extrémités d'un même four, irrégularités résultant quelquefois d'un changement de direction des gaz en des temps inégaux par suite d'une négligence d'ouvrier. Elle présente encore d'autres avantages au point de vue du travail du verre aux ouvreaux pour le soufflage.

Les auteurs et les constructeurs de ce système de fours prétendent réaliser des économies de combustible en comparant les résultats de leurs fours à ceux des autres fours à interversions des courants gazeux; cela à cause de la disposition convenable donnée aux *brûleurs* « permettant d'obtenir une flamme de nature et de longueur convenables suivant le genre de travail du four, et, en assurant ainsi le mélange et la complète utilisation des gaz dans le four même. On ne recueille plus au récupérateur que la partie des gaz n'étant plus avantageuse dans le four, quantité d'ailleurs très suffisante au récupérateur pour échauffer l'air destiné à la combustion. » On peut, à l'aide de ces fours, revenir à la forme ronde très logique et à laquelle beaucoup de verriers semblent tenir. Quant à l'économie de combustible, résultant de ce système de fours sans renversements, nous ne partageons pas cette croyance. A la cristallerie de Baccarat on a installé un four à réchauffer, de ce système; ce four a donné toute satis-

faction au point de vue de sa régularité de marche, mais on n'a constaté aucune économie de combustible comparativement à un four Siemens.

Voici la description de quelques-uns de ces fours :

Les flammes arrivant par les deux extrémités du four, et par la partie haute,

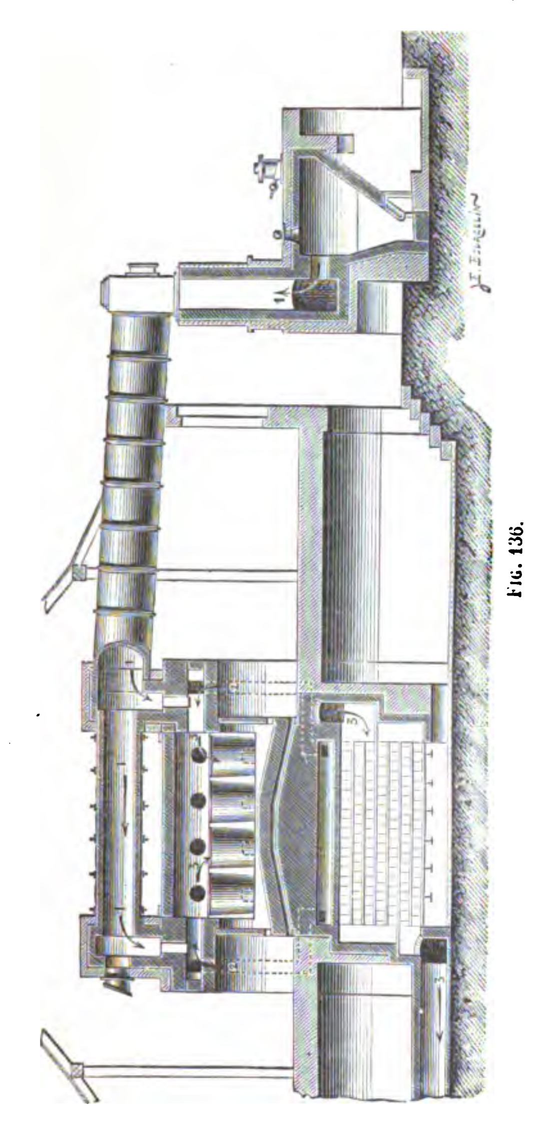


FIG. 136.

se répandent, dans le four, en nappes uniformes, et descendent pour s'échapper derrière les creusets (fig. 136). De là elles sont appelées dans un conduit collecteur qui les conduit au récupérateur où le tirage est produit par la cheminée d'appel. Les brûleurs sont placés à la partie haute du four et ne sont pas sujets aux détériorations que peut produire le verre débordant des creusets.

Si, par suite d'usure des sièges, ou par un accident quelconque, du verre venait à couler dans les collecteurs reliant les départs de flamme, ce verre, maintenu fluide par la haute température des gaz, coulerait sur la sole du car-

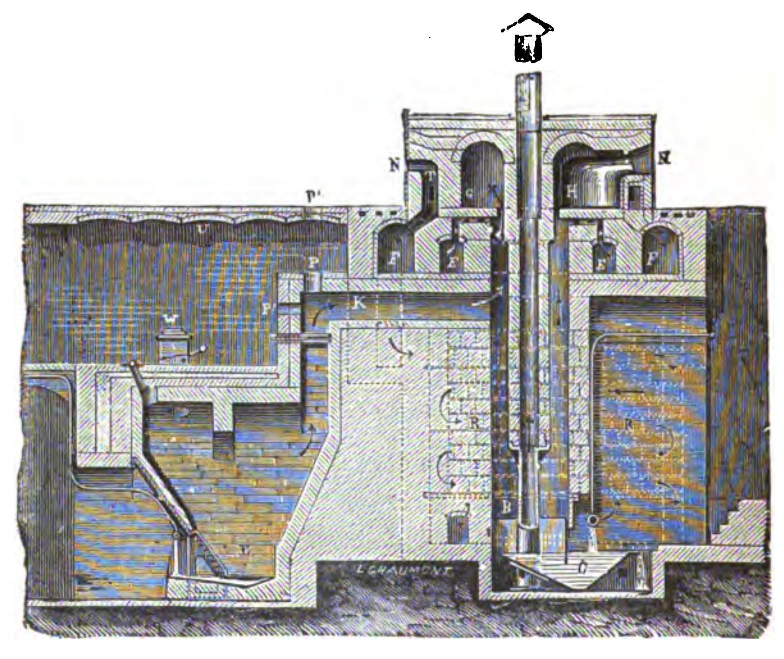


FIG. 137.

neau et tomberait dans un bac à eau, à fermeture hydraulique, d'où on le retirerait pour l'employer de nouveau à l'état de groisil.

Toutes les parties de ce four sont parfaitement accessibles pour le nettoyage.

Four rond à colonne centrale, système de Boismontbrun, chauffé au gaz avec récupérateur Radot et Lencauchez. — Dans ce système de four — appliqué chez M. de Boismontbrun, maître de verrerie à Coudrecieux (fig. 137 et 138), et appliqué pour les pots découverts à la Pierre (Sarthe) et à Grande-Vallée (Seine-Inférieure) — les gaz arrivent sur la sole du four par une section annulaire ménagée autour de la colonne, ayant auparavant, pour s'enflammer, rencontré l'air chaud venant du récupérateur. Les gaz s'élèvent donc, entourent les creusets et sortent par chacun des pied-droits, d'où ils s'échappent par un collecteur et retournent au récupérateur où en s'échappant ils échauffent l'air nécessaire à leur combustion. La colonne centrale a pour but de remplir dans le four, le vide que laissent les creusets au centre de la sole, de permettre de produire dans le four le volume de flammes strictement nécessaire pour lécher les pots pendant la fusion, sans chauffer un espace inutile. Elle permet en outre de diminuer la portée des voûtes.

La colonne est creuse et constamment rafraîchie par un courant d'air qu'on peut toujours utiliser pour le chauffage de certaines parties de l'usine.

Si un pot vient à se briser soit par suite d'un accident, soit par suite d'usure, le verre qui se répand sur les sièges n'y séjourne pas. Il s'écoule liquide dans la section annulaire par où débouchent les flammes ; ne pouvant s'attacher aux parois, dans lesquelles ont été ménagées des retraites à cet effet, il tombe verticalement dans le vide autour de la colonne, pour arriver soit sur une sole quelconque, soit dans un bac à eau, fermé par un joint hydraulique, d'où on peut aisément le retirer sans donner accès à l'air. Le verre, s'écoulant ainsi, n'a pas eu le temps d'être détérioré pendant son faible séjour sur les sièges, et, n'ayant pas été mis en contact comme dans les fours à grilles, avec le charbon

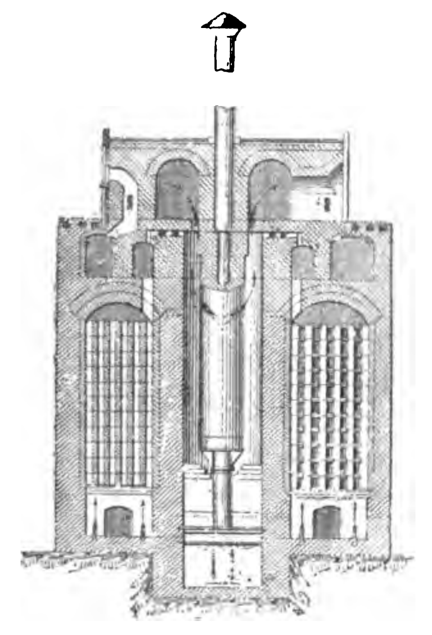


Fig. 138.

lui-même, il donne dans la bâche un groisil qu'on peut utiliser presque immédiatement.

L'inconvénient de ces fours à colonne centrale, c'est la grande profondeur qu'ils exigent dans les caves, où il faut placer les gazogènes en sous-sol ainsi que les brûleurs placés dans la sole, lesquels sont à refaire à chaque réveillée de dix à douze mois. A cause de ces inconvénients nous préférons de beaucoup le four à brûleur central, où le brûleur est à l'abri de toute détérioration produite par le verre qui s'écoule des pots, et qui par sa position permet de placer les gazogènes au niveau de la halle, en faisant arriver le gaz au-dessus du four.

L'expérience acquise dans les fours de verre à vitres de M. Renard, au sujet de ces brûleurs placés dans la voûte (fig. 139 140), retire toute inquiétude au sujet de la durée du brûleur de la voûte. On a aussi répondu à l'objection que nous faisions relativement à la manière dont le travail du verre s'effectuerait, le gaz

venant frapper un peu la surface des creusets. La réponse à cette objection, c'est que l'espace vide entre les creusets là où arrivent les gaz, est suffisant pour empêcher la pression du gaz à la surface des creusets, et ne peut ainsi paralyser l'ébullition du verre.

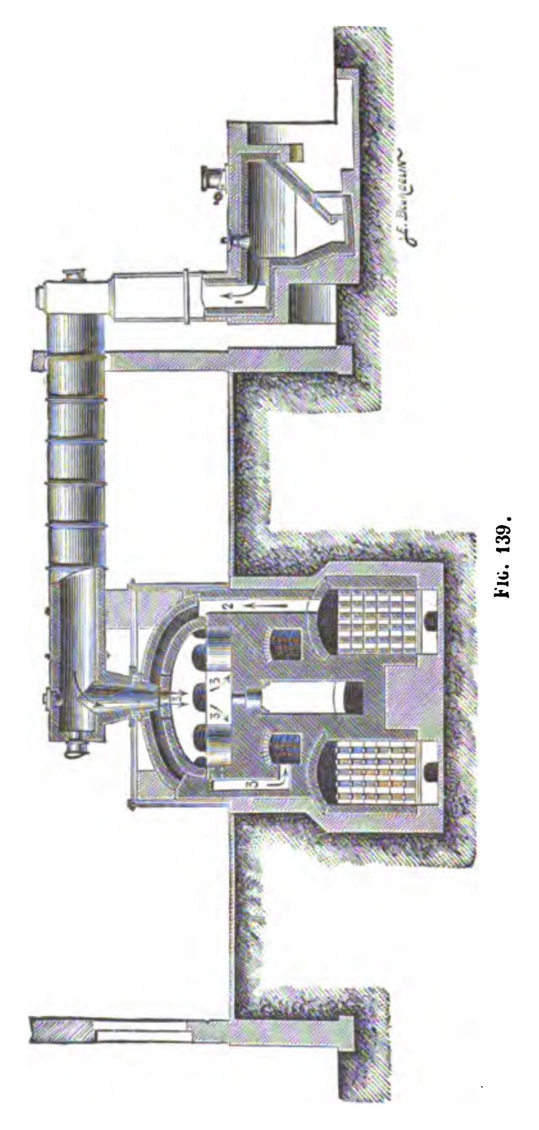


Fig. 139.

Dans ce four on voit que la combustion des gaz s'opère à la voûte où est amené l'air chaud. Cet air est réchauffé par les flammes perdues, dans un ou deux récupérateurs. Il se rend au brûleur, en montant dans un des pieds-droits et en passant entre les deux voûtes superposées qui recouvrent le four. L'air chaud pénètre dans le conduit, amenant les gaz combustibles, par une série d'orifices

convenablement disposés et qui permettent le mélange. La flamme pénètre dans le four proprement dit sans frapper les creusets, et s'étale sur la sole en les enveloppant. Les produits de la combustion s'échappent derrière les creusets et

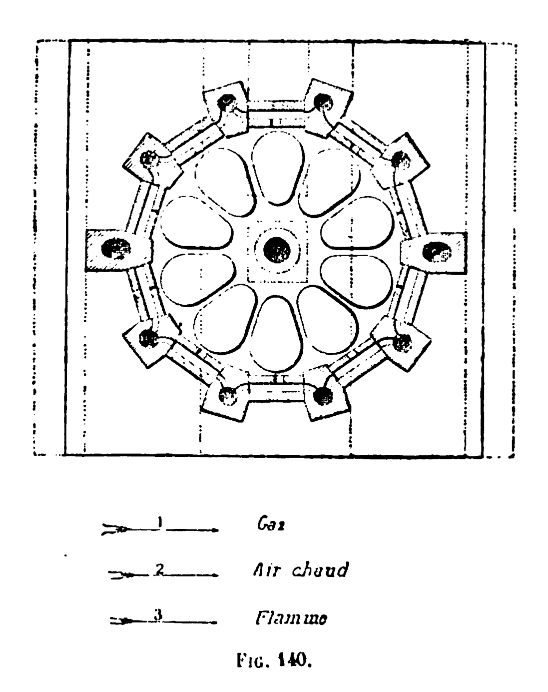


Fig. 140.

regagnent les galeries du récupérateur par les pieds-droits non employés au passage de l'air chaud.

Chauffage par radiation. — M. F. Siemens a fait, en 1884, à *l'Iron and Steel Institute*, une communication que nous croyons devoir reproduire ici. Sans partager complètement la manière de voir de M. Siemens sur la dissociation (1), ne trouvant même pas absolument nouvelles les idées émises dans cette communication, il est cependant intéressant de placer sous les yeux du lecteur le résumé des théories de l'inventeur auquel on doit l'idée, l'application des fours à cuve.

Cet inventeur porte un nom assez illustre pour que ses opinions en verrerie trouvent place dans un traité spécial.

M. F. Siemens établit ainsi qu'il suit la théorie du chauffage dit par radiation.

Dans la première période de la combustion qui est la période active, les flammes passent à travers une grande chambre à combustion et ne la chauffent que par leur chaleur rayonnante. Dans la seconde, les produits de la combus-

(1) Nous pensons que Siemens aurait dû, dans l'exposé de sa théorie sur la radiation, écarter la question de dissociation qui n'a rien à voir dans la matière. Il résulte en effet des travaux de MM. Mallard et Le Chatelier, que la dissociation est nulle à 1.500 degrés et insignifiante à 2000 degrés.

tion sont mis en contact direct avec les surfaces à chauffer auxquelles ils transmettent la chaleur produite par la combustion en l'ajoutant à celle résultant de la radiation émise par les flammes.

Comme il importe, dans les fours qui réalisent l'application de ce principe que les gaz en combustion ne perdant de leur chaleur que ce qui tient au rayonnement, il est absolument indispensable de faire les chambres assez grandes pour éviter le contact direct avec les parois.

Les voûtes des fours et les conduits de fumée doivent être disposés de telle sorte que la combustion complète du gaz puisse s'effectuer avant que les flammes aient quitté la chambre à combustion. On obtient ainsi une chaleur plus intense et une durée de combustion plus longue que dans les fours ordinaires.

L'intensité de la chaleur et la durée de la combustion comportent des avantages que les fours ordinaires ne sauraient présenter. Les flammes perdent beaucoup de chaleur par le contact de leur surface avec les parois d'un foyer, ce qui serait difficile à expliquer s'il n'y avait à côté de la combustion imparfaite d'autres causes qui réduisent en l'espèce, l'effet calorifique des flammes.

La flamme émet de la chaleur, par rayonnement, non seulement par sa surface, mais aussi de son intérieur, en la laissant passer à travers toute sa masse; c'est ainsi que toute particule de flamme envoie des rayons dans toutes les directions; mais quand celle-ci touche aux parois, la combustion cesse aux endroits des contacts, et du carbone mis en liberté détermine la production de la fumée. Cette dernière développe une partie de flamme et empêche les rayons calorifiques des autres parties d'y parvenir et d'élever la température.

Dans tous les phénomènes de la combustion, le rayonnement joue un rôle beaucoup plus important qu'on ne lui reconnaissait jusqu'ici; toute cause qui tend à diminuer le pouvoir rayonnant de la flamme ou à en dévier les rayons, réduit nécessairement la quantité de chaleur qui peut être utilisée. Si la flamme se trouve hors de contact avec les objets qu'il s'agit de chauffer, la combustion s'améliore et on obtient du rayonnement tout l'avantage qu'il peut présenter. Le mode usuel d'application de la flamme qui consiste à faire embrasser les surfaces à chauffer détermine une combustion imparfaite, empêche les rayons de chaleur d'élever la température de la flamme et tend par conséquent à la détruire. On constate principalement ce fait, lorsqu'on emploie des hydrocarbures ou de l'oxyde de carbone comme combustible. Cette manière de voir se trouve confirmée par les résultats que Siemens a obtenus dans les fours qu'il a expérimentés. Prenant en considération les phénomènes de dissociation, M. F. Siemens résume comme suit le mode d'action des surfaces chauffées. L'augmentation de température, en produisant l'expansion des gaz, réduit l'attraction mutuelle des atomes ou en d'autres termes diminue leur affinité chimique. En raison de leur augmentation de chaleur, la tendance répulsive des atomes augmente jusqu'à ce que la décomposition ou dissociation survienne. Ceci admis, il s'ensuit que l'attraction que les surfaces exercent sur les atomes de gaz, attraction qui croît avec la température, favorise la dissociation en augmentant la tendance répulsive des atomes. M. Victor Meyer, qui

avait le premier contesté les résultats obtenus par MM. Siemens, les a depuis acceptés. Nous avons été heureux d'apprendre ce fait, puisque leurs expériences confirment les résultats obtenus dans la pratique des fours.

M. Meyer dont l'autorité dans les questions de dissociation est généralement reconnue, a fait plusieurs expériences intéressantes qui ont fait ressortir l'exactitude de la théorie que nous venons d'exposer.

Par exemple il faisait tomber dans de l'eau des gouttes de platine fondu; de l'hydrogène et de l'oxygène se dégageaient par suite de la dissociation de la vapeur. Dans ce cas la dissociation ne peut être contestée, mais il faut se demander si la chaleur en est la seule cause.

En premier lieu il faut prendre en considération l'action dissociante que les surfaces chauffées du platine exercent sur la vapeur, et en deuxième lieu l'affinité qu'a le platine pour l'oxygène et l'hydrogène.

Il en est de même d'une autre expérience où M. Meyer a fait passer de la vapeur à travers un tube de platine chauffé. Bien d'autres expériences pourraient être citées dont les résultats confirment nos idées sur la question.

Il y a un autre phénomène démontré par l'expérience, et lié avec la dissociation, qui doit être expliqué. Quand une flamme dont la température est augmentée devient plus longue, on considère ce fait comme l'indice le plus sûr du commencement de la dissociation.

Or toutes les expériences de ce genre ont été faites avec des tubes étroits où l'influence des surfaces chauffées sur la dissociation devait entrer en jeu. Ce n'est pas seulement la chaleur qui dans ces cas déterminait la dissociation et augmentait la longueur des flammes, mais aussi l'influence des surfaces chauffées sur les gaz en combustion, surtout quand ceux-ci contenaient des hydrocarbures. Donc l'allongement de la flamme était dû en partie à ce que les surfaces empêchaient la combustion des gaz dissociés en rétrécissant l'espace.

Si la même flamme pouvait se développer dans un espace où les surfaces ne sont pas multipliées, dans les fours à radiation par exemple, l'allongement ne pourrait pas se produire; au contraire, au fur et à mesure de l'augmentation de température, la flamme deviendrait plus courte.

Ce phénomène peut être observé dans les becs à gaz régénérateurs dont la flamme est d'autant plus courte que la température, et par conséquent la lumière produites, sont plus intenses. D'autre part la flamme peut être allongée à volonté si elle est conduite à travers des passages étroits. On observe ceci dans les fours régénérateurs qui envoient des flammes jusqu'au sommet de la cheminée si les soupapes sont disposées de façon que les flammes au lieu de passer à travers le foyer entrent immédiatement dans le régénérateur et y brûlent.

La combustion proprement dite ne peut avoir lieu dans les voûtes du régénérateur, et les flammes s'allongent jusqu'à ce que les gaz se refroidissent au rouge sombre et se transforment en une épaisse fumée.

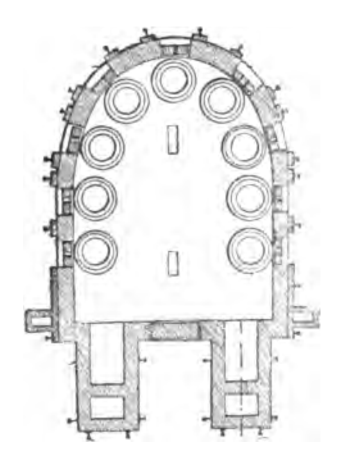
Aussi, dans ce cas, les grandes surfaces du régénérateur exercent la double action d'empêcher la combustion et de favoriser la dissociation.

Il résulte de ce que nous venons d'avancer que les fours régénérateurs

présentent de grands avantages pour les expériences, étant donné qu'ils offrent des résultats pratiques qui peuvent servir de base aux conceptions théoriques de la combustion et de la dissociation. Si la dissociation des produits de combustion a lieu, nous en voyons les conséquences dans une dimition de la chaleur, une réduction de rendement et la destruction des fours et des matériaux. Après avoir éloigné les causes de la dissociation, nous constatons l'élévation de la température, l'augmentation du rendement, la plus longue durée des fours et l'économie des matériaux.

Des résultats analogues peuvent être obtenus avec d'autres fours, mais les avantages n'en seront pas aussi grands que dans le cas des fours régénérateurs, étant donné que l'intensité de la chaleur qui peut être produite par les premiers est moins grande que celle produite par les derniers.

Ce système de chauffage par radiation, ou à flammes libres, a été appliqué aux fours de fusion dits à bassins (fig. 142), aux fours à pots avec introduction



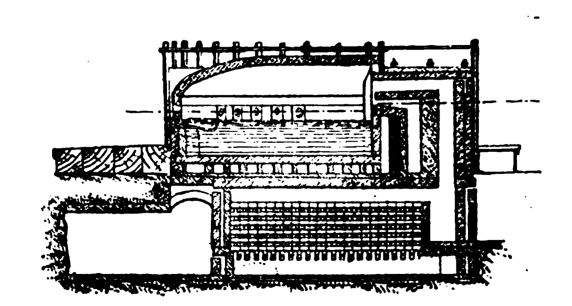


Fig. 141 et 142.

de flammes alternées par les pignons du four ou par un seul pignon comme dans la disposition dite en fer-à-cheval (fig. 142).

Ces exemples et ce que nous venons de dire suffisent pour montrer l'application de la théorie de M. F. Siemens.

Régénération du carbone. Modification au four Siemens. — MM. Biedermann et Harvey, appartenant au personnel technique de la maison Siemens, ont pensé que les fours à chaleur régénérée étaient susceptibles de perfectionnements et pouvaient encore procurer une économie considérable de combustible en modifiant légèrement le mode de récupération, et en faisant intervenir directement une partie des produits de la combustion à leur sortie du laboratoire dans la gazéification du combustible solide. On sait que dans le gazogène ordinaire la production de l'oxyde de carbone est le résultat de la décomposition de l'acide carbonique formé en premier lieu sur la grille par l'oxygène en excès.

Dans la couche inférieure du combustible incandescent (fig. 143), il se produit de l'acide carbonique surchauffé qui se transforme en oxyde de carbone en traversant la couche supérieure rouge, tandis que les hydrocarbures distillent à la surface et quittent le gazogène, mélangés à l'oxyde de carbone.

La formation de l'acide carbonique donne lieu à une forte production de chaleur, mais sa transformation en oxyde de carbone est au contraire accompagnée d'une absorption de calorique.

Dans le four Siemens adapté à la réalisation de ce principe nouveau, les produits de la combustion tels qu'ils sont à la sortie du laboratoire, c'est-à-dire très chauds, sont introduits directement sous la grille du gazogène : il en résulte qu'on peut se dispenser de produire de l'acide carbonique dans la partie inférieure du nouveau gazogène.

Il suffit que la chaleur qui eût été engendrée par cette production d'acide

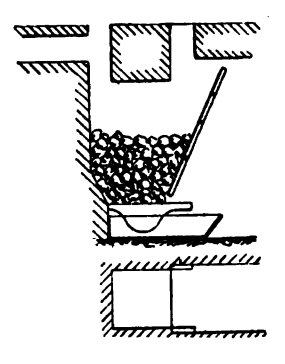


Fig. 143.

carbonique et qui est nécessaire à sa décomposition, soit compensée par le calorique apporté par les produits de la combustion jouant ici le rôle de carburant. S'il en est ainsi, le gazogène deviendra le convertisseur dans lequel s'opérera la reconstitution des gaz brûlés en gaz combustibles sans que la température du combustible solide diminue. Ce fait qui à première vue peut paraître paradoxal, s'explique par la présence dans le gaz brûlé d'une quantité considérable d'azote qui est le véhicule de la chaleur nécessaire à la réaction.

On peut, par un raisonnement très simple, montrer en quelque sorte la raison première de l'économie réalisée.

Supposons en effet le gazogène de la figure précédente rempli de coke incandescent; si on admet de l'oxygène sous la grille, il se formera dans la zone inférieure de l'acide carbonique produisant une certaine quantité de chaleur. Cet acide carbonique se décompose dans la zone supérieure en absorbant une certaine partie de cette chaleur.

Il résulte de la réaction que le poids du carbone gazéifié dans la zone inférieure sera égal à celui du carbone gazéifié dans la zone supérieure. Mais si nous supprimons la production d'acide carbonique et que nous le

remplacions par de l'acide carbonique surchauffé emprunté à une source étrangère, nous aurons bien réalisé l'économie de la moitié du combustible.

Dans le nouveau four, les gaz sortant du laboratoire sont en partie dirigés sous la grille du gazogène convertisseur, et leur chaleur est intégralement utilisée soit pour opérer la distillation des matières volatiles de la houille, soit pour les maintenir à une certaine température à leur arrivée dans le four. L'autre partie des gaz brûlés descend dans le régénérateur de l'air comme dans le four Siemens ordinaire.

Pour la propulsion des gaz à travers le convertisseur on emploie un injecteur de vapeur. Cette vapeur est surchauffée par les gaz venant du four; elle est décomposée en traversant le convertisseur et sert à enrichir les gaz.

Les figures 144 et 145 permettent de saisir les analogies qui existent entre le nouveau et l'ancien four Siemens.

Le four ancien (fig. 144) possède deux régénérateurs : un pour le gaz, un

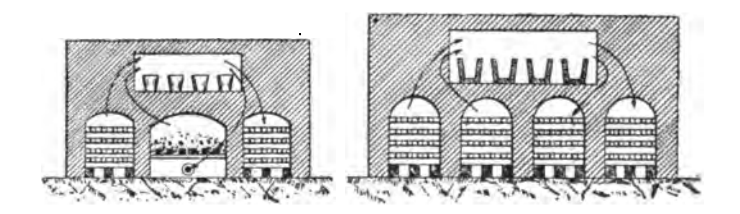


Fig. 144 et 145.

pour l'air; le nouveau ne possède qu'un régénérateur d'air et un convertisseur pour le gaz. Dans les deux cas on refroidit également les gaz brûlés avant leur départ par la cheminée en ne laissant que la chaleur nécessaire au tirage; mais comme dans le nouveau four une partie seulement des gaz brûlés est à évacuer, la chaleur nécessaire au tirage de la cheminée se trouve diminuée d'autant. Dans les deux fours il y a inversement des courants d'air et de gaz pour assurer la répartition uniforme de la température dans le four.

La forme adoptée pour le nouveau four peut varier selon les circonstances. Celle qui est représentée par les figures 146 et 147 est adaptée à la fabrication du verre dans un four à bassin dans lequel la flamme circule en décrivant un demi-cercle.

Le gaz du convertisseur B passe par un des carreaux C et le champignon D' au brûleur *h' g'*. Il rencontre l'air amené par la bouche H' et l'enflamme.

Les produits de la combustion s'échappent par le second brûleur *hg* pour se diriger partie vers la cheminée, en passant par le régénérateur A, partie sous les grilles NN du gazogène par l'injecteur I pour y être reconstitués en gaz combustibles. De temps en temps on renverse la direction des courants en manœuvrant les champignons DD' et la valve J comme on le fait habituellement dans les fours Siemens.

Les gaz fournis par le convertisseur ont la composition moyenne ci-dessous que nous comparons à celle des gaz produits par l'ancien gazogène :

FONCTIONNEMENT DU FOUR.

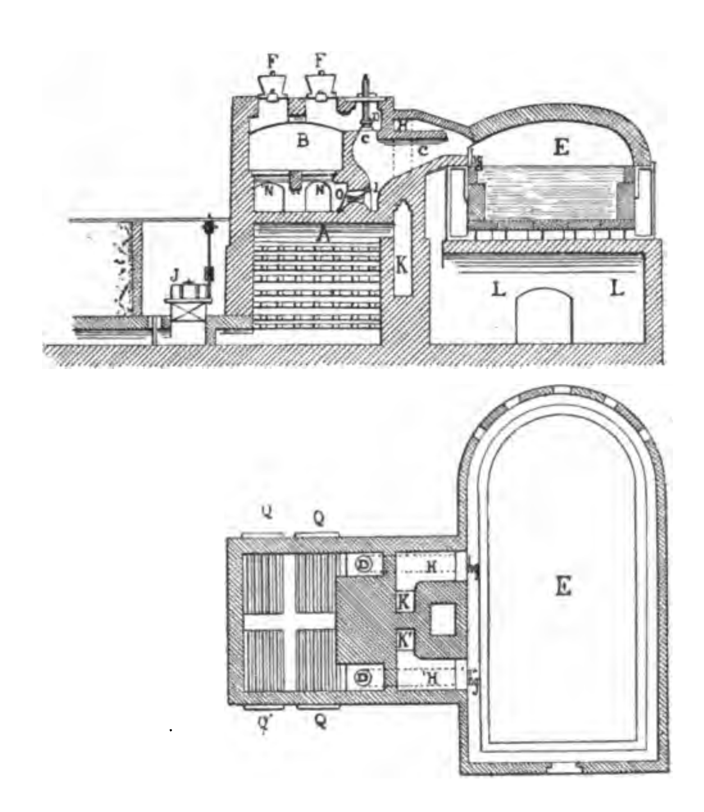


Fig. 146 et 147.

A, régénérateur à renversement pour l'air.
B, gazogène.
FF', trémies de chargement.
NN', grilles du gazogène.
E, laboratoire du four.
C, un des conduits amenant le gaz combustible au laboratoire E.
DD', valves à champignons conjuguées entre elles, par un balancier, de manière à ouvrir ou à fermer alternativement l'une ou l'autre conduite à gaz.
hg, *h'g'*, brûleurs à flamme libre débouchant dans le laboratoire.
HH', bouches d'air chaud communiquant avec le laboratoire.
KK' conduite reliant les régénérateurs aux brûleurs.
I, un des injecteurs à vapeur placé dans les carneaux et produisant l'appel d'une partie des gaz brûlés sous les grilles du gazogène convertisseur.
J, valve pour produire l'inversion du courant d'air allant au four et des gaz brûlés passant par les régénérateur pour se rendre à la cheminée.
O, un des couvercles montés sur charnière pour admettre ou intercepter alternativement les gaz brûlés dans leur communication avec le gazogène. Ces couvercles sont manœuvrés automatiquement par des tringles reliées au balancier des champignons DD', le mouvement qui ferme D' ouvrant O et *vice versa*.
Q, Q, portes d'accès aux grilles du gazogène.

	Ancien gazogène.	Gazogène convertisseur.
Acide carbonique	3,8	4,0
Oxygène	0,0	0,0
Oxyde de carbone	26,1	27,0
Hydrogène	6,0	8,0
Hydrogène carboné	2,8	4,0
Azote	61,3	57,0
	100,0	100,0

Ces gaz, quoique de composition bien différente, différence due en partie à la nature de la houille employée dans les deux cas, ont sensiblement la même puissance calorifique; mais il était intéressant de constater que la proportion d'acide carbonique n'est pas beaucoup plus considérable dans le cas du gazogène convertisseur que dans les gaz obtenus directement par l'air dans les gazogènes de l'ancien four Siemens. Outre l'avantage que présente le nouveau four, en raison de l'économie de combustible qu'il permet de réaliser, il convient d'attirer l'attention sur l'extrême simplicité de construction de cet appareil.

Le prix de revient, d'après les inventeurs, n'est environ que les deux cinquièmes de celui d'un ancien four Siemens de même capacité productive. L'emplacement occupé par le nouveau four est extrêmement restreint; la main-d'œuvre se trouve aussi simplifiée et diminuée, le service du gazogène étant réduit dans la même proportion que la consommation de combustible.

Dans une note de M. G. Despret, relative aux perfectionnements apportés aux gazogènes et fours Siemens, nous trouvons que le fonctionnement d'un four, avec régénération d'une partie des gaz brûlés est assuré en utilisant 56,5 pour 100 des gaz brûlés à l'échauffement du régénérateur d'air; le reste, 43,5 pour 100, étant largement suffisant pour fournir par son passage dans les gazogènes convertisseurs un gaz combustible de richesse constante.

L'économie chiffrable serait évaluée à 50 pour 100.

Les applications du gazogène Biedermann aux fours de verrerie n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

L'installation en elle-même marchait convenablement, mais le vice de ces fours, ce qui a forcé à en arrêter les essais, est le suivant : lorsqu'on doit décrasser une grille, il faut ouvrir le cendrier correspondant et cesser les injections qui alimentent de gaz brûlés chauds tous les gazogènes. C'est arrêter net la production de gaz et mettre le four en braise.

Quand on emploie des charbons très purs, ne donnant pas lieu à de fréquents nettoyages de grilles, cet inconvénient présente peu de gravité; mais généralement, la teneur élevée en cendres des houilles oblige à décrasser toutes les trois ou quatre heures et pendant une demi-heure chaque fois.

Il en résulte que l'allure du four est excessivement variable et que, surtout dans le cas du four à bassin, le verre durcit trop et devient difficile à couler.

Le seul moyen de réussir serait de disposer d'une double batterie de gazogènes, de façon à ne pas arrêter totalement l'arrivée du gaz combustible au four pendant le décrassage.

En métallurgie cet inconvénient n'existe pas; les opérations de chauffe sont

à effets intermittants et peuvent se plier à cette marche des gazogènes. Il paraît en outre que ce système de gazogènes présente le grand avantage de réduire beaucoup le déchet de métal.

La modification, le perfectionnement qui fait du gazogène Siemens un véritable convertisseur, paraît donc présenter pour la verrerie et surtout pour la métallurgie un intérêt capital.

Aussi nombre de personnes, parmi lesquelles nous citerons M. E. Damour et M. Fourcault, ont-elles cherché à se rendre compte si réellement ce mode d'opérer est susceptible d'applications et s'il peut donner les résultats annoncés.

Dans un travail très consciencieux relatif à la matière, M. E. Damour a démontré l'inexactitude du raisonnement sur lequel Siemens établit sa théorie (1).

Nous citerons quelques passages de l'étude (2) qui a été faite à ce sujet par M. Émile Fourcault, ingénieur des mines à Lodelinsart, et à laquelle nous engageons vivement le lecteur à se reporter.

« La modification faite par MM. Biedermann et Harvey revient à transformer les générateurs de gaz en véritables convertisseurs dans lesquels les produits brûlés, riches en acide carbonique et en vapeur d'eau, se transforment de nouveau en oxyde de carbone et hydrogène, reproduction fidèle de la classique expérience de laboratoire ayant pour objet la production de l'oxyde de carbone en faisant passer un courant d'acide carbonique dans un tube rempli de charbon de bois et porté au rouge.

» A première vue, le processus indiqué paraît fort simple et si rationnel qu'il serait étrange que tant d'intelligences mises au service des questions de chauffage ne l'aient fait surgir plus tôt de l'immense trésor que les sciences mettent à la disposition de tous les chercheurs.

» Dix ans auparavant, à Paris, le 20 avril 1879, et à Charleroi, le 9 mai de la même année, deux demandes de brevet ont été déposées par M. Émile Gobbe.

» Ces documents avaient pour objet le même principe de la régénération du carbone. » On y lit : « Le principe de cette invention repose sur la propriété qu'ont les produits de combustion de pouvoir être régénérés, c'est-à-dire redevenir gaz combustibles en passant sur une couche de coke maintenue à une température suffisamment élevée. »

» Or, dans les fours à haute température, les gaz brûlés après avoir produit leur effet utile dans le laboratoire du four s'échappent à une température relativement très élevée, et la chaleur, qui se trouve pour ainsi dire dissoute dans ces produits de combustion, est insuffisante pour porter au rouge une masse de combustible qui se trouverait à proximité du laboratoire, et par suite régénérer le gaz brûlé qui aura traversé cette couche.

» Si donc nous plaçons près du laboratoire d'un four à haute température un gazomètre étudié de telle façon que les produits de combustion venant du

(1) Étude sur le nouveau four Siemens et sur l'utilisation de la chaleur dans les fours à régénération. *Annales des Mines,* janvier 1895.

(2) Étude sur les gazogènes à injection de produits de combustion. Extrait de la *Revue universelle des Mines.*

laboratoire puissent facilement traverser la couche de charbon qui y serait enfermée, nous aurions ainsi un appareil qui pourra régénérer le gaz; c'est pourquoi je l'appelle gazogène régénérateur.

» Le gaz ainsi régénéré pourra servir à tel usage que l'on jugera convenable, et même on pourra l'employer de nouveau dans le laboratoire du four d'où il vient de sortir et le régénérer indéfiniment.

» Mais comme son volume irait toujours en augmentant, il serait alors nécessaire d'en laisser échapper une partie sans la faire passer au travers du gazogène régénérateur. On pourrait par exemple employer cette partie des produits de la combustion au chauffage de l'air de combustion et cela à l'aide des chambres de chaleur Siemens, Ponsard.

» Suit alors la description d'un four de verrerie dans lequel le passage des gaz brûlés au travers du combustible est réalisé par l'action d'une grande cheminée siphon.

» Un tel four a été construit chez MM. Lemaire frères, maîtres de verreries à Aniche (Nord). L'installation a marché pendant trois semaines en donnant une sérieuse économie de combustible.

» L'obstruction continuelle du siphon a conduit les expérimentateurs à abandonner leurs essais; une modification de la canalisation eût pu facilement porter remède à cet état de choses. »

L'inventeur conclut en ces termes :

« En résumé je revendique dans cette invention le droit exclusif de régénérer les produits de combustion des fours à haute température en les faisant passer au travers d'un foyer de forme quelconque placé à proximité du laboratoire du four. »

» Cette idée peut-elle être féconde en résultats? Et, dans l'affirmative, quel en serait le mode d'application le plus rationnel?

» Telles sont les questions que nous nous sommes posées et que nous avons tâché de résoudre par le calcul en nous appuyant sur les lois de la thermochimie, les données expérimentales sérieuses faisant encore absolument défaut.

» Siemens, dans ses brochures, annonce une économie de 66 pour 100 dans la consommation du combustible.

» L'on peut affirmer *a priori* que ce chiffre est singulièrement exagéré. En effet, que peut-on gagner sur le système ancien?

» 1° En admettant qu'il soit possible d'introduire dans le gazogène la totalité des produits affectés, dans le système ordinaire, au chauffage des empilages à gaz, nous sommes en état de regagner toute la perte due à l'excès de température à la sortie de ces chambres, soit 13,89 pour 100;

» 2° Une seconde économie réalisable est due à l'utilisation de la chaleur de vaporisation du carbone, dépense qui serait faite une fois pour toutes pour la quantité régénérée.

» Déterminons quel est le maximum de la quantité de carbone régénérable.

» Un kilogramme de carbone pur donne théoriquement le gaz suivant :

$$2{,}333^{kg}\ CO + 4{,}437^{kg}\ \text{azote}.$$

» Ce gaz brûlant avec la quantité d'air fournit les produits de combustion suivants :

$$3{,}667^{kg}\ CO^2 + 8{,}874^{kg}\ \text{azote}.$$

» Les gaz brûlés obtenus dans ces conditions contiennent exactement la quantité d'oxygène nécessaire pour reformer le gaz primitif.

» Si donc nous pouvons faire passer la totalité de ces produits dans le gazogène, la quantité de carbone régénérée sera de 100 pour 100, c'est-à-dire de 1 kilogramme, et le gaz formé aura identiquement la même composition que le gaz initial.

» En pratique il faut un excès d'air minimum de 20 pour 100 pour obtenir une combustion complète.

» Les produits de combustion du gaz au coke théorique seront donc dans ces conditions :

PRODUITS DE COMBUSTION AVEC 20 POUR 100 D'AIR EN EXCÈS DU GAZ AU COKE.

	Poids de gaz brûlés formés.	Composition centésimale.	Calorique spécifique.	Calorique spécifique du kilogramme de gaz.
CO^2	3,6667	0,2665	0,217	0,0578305
Az.	9,8208	0,7141	0,244	0,1742404
O	0,2666	0,0194	0,217	0,0042098
	13,7541	1,0000	0,236	0,2362807

» Dans ces gaz brûlés, l'oxygène disponible pour la formation d'oxyde de carbone se compose :

» 1° De la moitié de O uni à C ;

» 2° De la totalité de l'oxygène libre.

» Il y a par conséquent de disponible dans 1 kilogramme de produits de combustion :

$$\frac{3{,}6667 \times 4}{13{,}7541 \times 11} + \frac{0{,}2665}{13{,}7541} = \frac{17{,}60}{13{,}7541 \times 11}\ \text{kg. oxygène.}$$

» On sait que pour transformer 1 kilogramme de carbone en CO il faut $\frac{4}{3}$ kilogramme d'oxygène.

» Il faudra donc un nombre n kilogrammes de produits de combustion pour effectuer cette transformation, nombre donné par

$$n = \frac{4 \times 13{,}7541 \times 11}{3 \times 17{,}60}.$$

» Or, 13,7541 kilogrammes de gaz brûlés contiennent 1 kilogramme de carbone ; les n kilogrammes que nous devons introduire en contiendront x, donnés par la relation

$$x = \frac{4 \times 13{,}7541 \times 11}{3 \times 17{,}60 \times 13{,}7541} = 0{,}8333\ \text{carbone.}$$

» On peut donc, la combustion se faisant avec 20 pour 100 d'air en excès,

régénérer au maximum 83,3 pour 100 de la quantité de carbone contenue dans le combustible, si, bien entendu, la quantité non employée de produits brûlés, après avoir assuré le chauffage de l'air, contient suffisamment d'oxygène disponible pour assurer la gazéification complète du combustible.

» Le bénéfice maximum de ce chef est trouvé égal à

$$0{,}7121 \times 0{,}833 = 0{,}4934 \text{ carbone.}$$

» Le carbone des hydrocarbures étant déjà à l'état gazeux n'entre pas en ligne de compte.

» Or, la chaleur latente de vaporisation du carbone étant estimée à 3134 calories, nous bénéficions de

$$0{,}5934 \times 3134 = 1860 \text{ cal.}$$

soit :

$$\frac{186{,}000}{7725} = 24{,}08 \text{ p. } 100.$$

» En résumé, et sans examen plus approfondi, on peut réaliser :

1° Gain sur la perte de tirage aux chambres à gaz.	13,89 p. 100.
2° Gain sur la chaleur latente de vaporisation du carbone. .	24,08 —
Gain total	37,97 p. 100.

» En lisant le brevet pris par Siemens on peut se demander si l'introduction de gaz brûlés au moyen d'un koerting à vapeur est bien le moyen le plus rationnel d'obtenir la régénération du carbone et l'utilisation de la chaleur latente de vaporisation de celui-ci.

» Un doute se présente immédiatement à l'esprit. La concentration successive de la vapeur d'eau dans les gaz brûlés, combinée au minime rendement du Kœrting, aspirant des fluides aussi dilatés, n'assignera-t-elle pas à la vapeur un rôle prédominant dans les échanges de chaleur autour de la gazéification. Cette circonstance ne reléguera-t-elle pas au second plan la réaction essentielle de la régénération du carbone?

» Poursuivant son étude et examinant les différents modes de procéder à la régénération du carbone : injection, au moyen d'un jet de vapeur ou d'un jet d'air, d'une partie des gaz brûlés supposés à très haute température, ou au contraire refroidis vers 300 degrés, M. Fourcault y arrive aux conclusions suivantes :

» Siemens a précisément choisi, pour faire valoir son idée de la récupération du calorique latent de vaporisation du carbone, le mode d'application le plus désavantageux de tous.

» Lui le créateur de la récupération de la chaleur perdue par les produits de la combustion propose la suppresion des empilages à gaz pour permettre l'introduction dans le gazogène de 6 pour 100 seulement de la quantité totale des gaz brûlés et aboutir finalement à une perte de 1 pour 100 relativement au procédé ancien.

» Il n'est pas téméraire d'affirmer que les industriels qui emploient le nouvel appareil n'en retireront absolument aucune économie.

» On a cependant cité des résultats brillants obtenus en métallurgie. Nous sommes persuadés que ceux-ci sont dus uniquement à l'application du chauffage par le gaz, aux qualités chimiques spéciales des flammes produites et à une disposition plus rationnelle des fours.

» Le dispositif Siemens est loin d'être pratique. La proximité des organes de rendement, tant du brûleur que du gazogène, aura pour effet de soumettre ceux-ci aux plus rudes épreuves : déformation et même fusion des valves.

» Les appareils d'injection résisteront-ils à des températures voisines de 1.500 degrés. Il est permis de ne guère y croire. La substitution d'ajutages en matériaux réfractaires aux ajutages métalliques ne pourra jamais être qu'un faible palliatif.

» L'injection des gaz brûlés par l'intermédiaire de la vapeur n'est possible que par l'addition d'une très forte quantité d'air.

» Si cependant, pour des causes spéciales, l'emploi de la vapeur comme moteur d'aspiration s'imposait, il faudrait n'introduire les produits brûlés qu'après leur circulation dans les chambres à gaz.

» Il faut bien se garder de supprimer ces appareils. L'économie possible reste en effet la même et l'on a l'avantage de soustraire les appareils d'insufflation et d'inversion aux néfastes influences des hautes températures.

» Dans certains cas, l'espace peut faire défaut et amener forcément la suppression des chambres à gaz. Dans ce cas, il faudra que les chambres à air soient suffisamment grandes et puissantes pour pouvoir en distraire une partie de l'air qui y est chauffé afin de l'introduire sous les grilles, moyen détourné de tirer parti de l'excès de chaleur perdue qu'on est obligé d'y faire passer.

» La véritable manière d'arriver à une régénération sérieuse de carbone est d'employer un Kœrting à air comprimé : c'est la seule solution rationnelle du problème, avec des aspirateurs agissant par entraînement moléculaire.

» Malheureusement le coût de l'air comprimé est très élevé; en tenant compte du rendement du compresseur, on ne peut espérer qu'une économie de 7 pour 100.

» Les usines disposant de force motrice perdue pourraient escompter un bénéfice de 18 pour 100 sur la consommation de combustible.

» Quant aux avantages pratiques de ce mode d'application, ils sont tout indiqués.

» N'est-ce pas une solution facile du problème de la conservation des ajutages de la soufflerie que d'y laisser un jet d'air comprimé, qui en se détendant brusquement réalise dans leur voisinage un abaissement considérable de température?

» Dans le procédé présent qui permet d'injecter 25 pour 100 de gaz brûlés, nous pourrions songer à supprimer les récupérateurs à gaz sans encourir des pertes bien considérables.

» Nous sommes d'avis qu'il serait utile, dans ce cas, de les remplacer par un nouvel organe auquel on pourrait donner le nom d'épurateur.

» Supposons que le canal qui amène les produits brûlés au Kœrting et qui, après inversion sert de conduit pour le gaz, soit large et coupé par des

cloisons horizontales assez rapprochées, disposées comme dans le four Michel Perret pour le grillage des minerais. Que se passera-t-il si nous étalons sur ces surfaces de gros morceaux de coke léger?

» Pendant la première phase, celle du courant ascendant, le gaz circulera dans ces chicanes, l'acide carbonique pourra achever sa réduction au contact du carbone incandescent.

» Pendant la seconde phase, celle du courant descendant, l'oxygène en excès des gaz brûlés pourra se fixer sur le carbone et une réduction de l'acide carbonique pourra déjà se produire. En tous cas, il est fort probable que le fluide aspiré arrivera plus chaud aux générateurs de gaz.

» L'expérience seule décidera de l'efficacité de ce nouvel engin. Il est reconnu que pour obtenir une bonne récupération des flammes perdues, il est avantageux de refroidir les gaz pendant leur formation aux gazogènes, afin de les introduire à une plus basse température dans les empilages.

» Ce résultat a été atteint utilement jusqu'à présent par l'introduction de vapeur d'eau dans la masse du combustible en ignition, et nous soutenons qu'il est plus rationnel de réaliser ce refroidissement par l'introduction de l'acide carbonique des gaz brûlés que de toute autre manière, car on peut de la sorte récupérer une partie de la chaleur latente de vaporisation du carbone.

» Cette dépense de force ou mieux de chaleur, sera faite ainsi une fois pour toutes pour la partie du carbone qu'on régénérera. »

Tous les efforts doivent tendre à réaliser économiquement, dans des conditions réellement pratiques, cette idée émise par M. Gobbe et ensuite par MM. Biedermann et Harvey, à savoir l'introduction dans les gazogènes des produits de combustion à la plus haute température possible.

Nous pensons, comme M. Fourcault, qu'on pourra trouver grand avantage à opérer une récupération partielle du carbone et qu'il y a grand intérêt à diriger ses recherches de ce côté.

Il est indiscutable d'ailleurs que la suppression des chambres à réchauffer le gaz, entraînant la suppression de la valve et ses inconvénients, permet en outre de supprimer la perte de charge due au frottement des gaz sur les briques d'empilage. Mais l'expérience montre que pour obtenir dans le four la même vivacité de combustion avec du gaz relativement froid, il faut compliquer le brûleur ou dispositif de mélange de l'air et du gaz.

Ce brûleur moins simple est plus délicat de construction, par suite moins robuste. Or dans tout four Siemens, ancien ou nouveau système, il faut que le brûleur serve alternativement à l'entrée des flammes et à la sortie des gaz brûlés; si donc nous avons un brûleur moins robuste, nous augmentons encore ses chances de fusibilité et de dégradation. D'où nous concluons qu'il vaut mieux pour le moment se résigner aux inconvénients du four Siemens ancien modèle parce que ce four est plus résistant.

En passant, disons un mot d'un système de régénération imaginé par M. Staffen.

Ce procédé consiste à dépouiller les gaz brûlés de l'acide carbonique qu'ils contiennent par dissolution de ce gaz, dans l'eau. Libéré ensuite par l'action

du vide, cet acide carbonique est injecté soit seul, soit en mélange avec de la vapeur sous la grille des gazogènes.

Four Derval et Radot. — Tout récemment MM. Derval et Radot ont préconisé une disposition de four pour glacerie. Les formes adoptées nous paraissent très heureuses pour la répartition uniforme de la température (Planche 000).

Ce four pourrait se construire en deux fois, et il suffirait do placer une murette en M pour pouvoir éteindre et réparer successivement chacune des moitiés du four. A la rigueur, on pourrait même isoler chaque compartiment (contenant deux creusets) en plaçant des murettes de séparation après avoir bouché les brûleurs et les sorties de flammes correspondantes.

Toutes les parties du four exposées à une température élevée se trouvent rafraîchies par des circulations d'air froid, et les flammes qui pénètrent dans la galerie ou collecteur placé au milieu du four sont suffisamment refroidies pour que la détérioration rapide des maçonneries réfractaires ne soit pas à craindre.

On remarquera que la disposition des brûleurs doit assurer une combustion parfaite sans aucun danger pour les pots.

Nous ajouterons que toutes les précautions sont prises pour obtenir un écoulement facile du verre en cas de rupture des pots. Les montées d'air chaud sont placées en dehors du four, ce qui évite tout danger d'obstruction; ces montées d'air sont d'ailleurs entourées par des carneaux rafraîchisseurs.

Fours chauffés au gaz naturel. — Toutes les industries implantées à Pittsbourg (Amérique) emploient le gaz naturel pour le chauffage de leurs appareils.

Le gaz naturel de Pittsbourg a réduit de moitié la consommation du charbon dans cette ville. On s'en sert aujourd'hui dans les usines, les hôtels, les établissements publics, et son emploi s'est généralisé même dans les résidences particulières. Comme il ne résulte de l'emploi de ces gaz ni poussières, ni noirs de fumée, il y a un progrès sous le rapport du bien-être et de la propreté, aussi bien que sous le rapport de l'économie.

Un des directeurs des verreries, à Pittsbourg, déclare que la substitution du gaz naturel au charbon lui a procuré une économie très notable. Une partie de cette économie résulte de la nature du combustible, une autre consiste dans ce fait, que le gaz ne laisse pas de résidus; or l'enlèvement des cendres et escarbilles lui coûtait avec le chauffage au charbon de 3 à 400 dollars par an.

Il y a encore une autre économie dans le travail : le four dans lequel on brûle du charbon exige deux hommes occupés au chargement, à 17 dollars par semaine chacun; le four à gaz n'en demande pas un; il n'y a pas besoin d'entretenir le feu, ni de remuer le combustible. Enfin, l'économie la plus importante réside dans l'augmentation de durée des fours.

Le four à glaces demandant une température d'environ 1.600 degrés s'use

assez rapidement en brûlant du charbon, tandis qu'avec le gaz comme combustible sa durée est notablement augmentée.

Sans exagérer les avantages à tirer de l'emploi du gaz naturel, il ne peut y

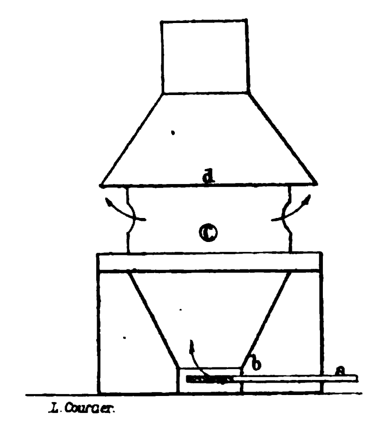


Fig. 148.

avoir de doutes sur les faits. Le seul point incertain, c'est la durée d'écoulement ou de production du gaz.

La figure 148 montre un four à verre chauffé par le gaz naturel.

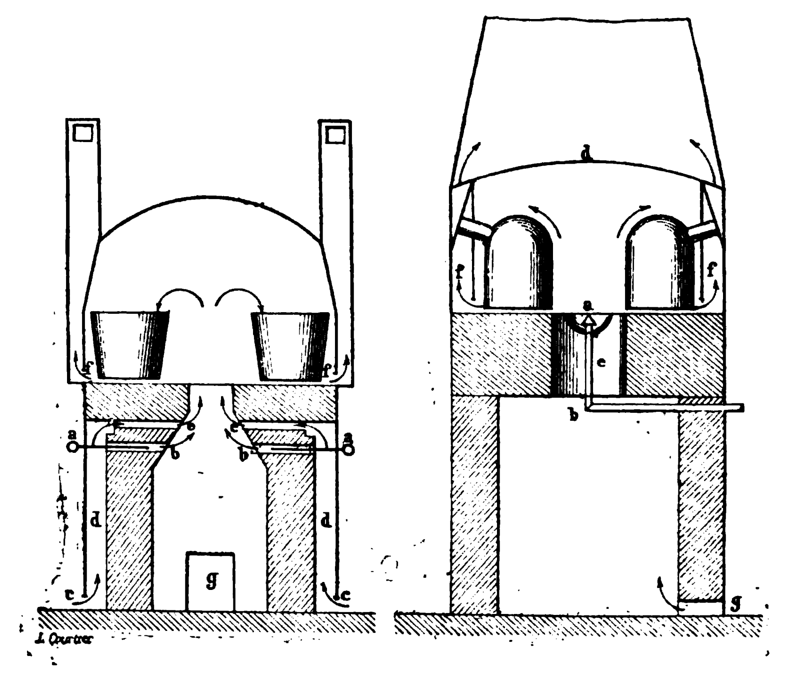


Fig. 149 et 150.

Le gaz entre par un tuyau *a* de 25 millimètres qui est perforé à l'extrémité placée vers l'intérieur du four. L'air entre en *b* par un espace ouvert au bout

du tuyau et dont on peut augmenter ou diminuer la section à volonté. La grille des anciens fours est ici un bâti de briques. On peut, dans les fours transformés, laisser la grille en la recouvrant d'une série de briques disposées de façon à laisser entrer l'air par des ouvertures parallèles.

Voici le four (fig. 149) employé dans certaines verreries de Pittsbourg, et qui est un perfectionnement de celui décrit ci-dessus. Le gaz arrive dans le tube *a*, de 0m,055 à 0m,060 de diamètre, qui s'étend le long des deux parois du four; de ce tube s'en détachent d'autres d'un diamètre plus faible (environ 0m,01, par lesquels le gaz entre dans le four par les fentes *b* pratiquées dans le siège du four. L'air entre en *c*, monte par les canaux *d* et pénètre dans le four au-dessus des arrivées de gaz en *e;* c'est là le point de combustion d'où la flamme pénètre dans le four. Les produits de la combustion s'échappent, par les ouvertures *f*, dans les cheminées d'appel. Une quantité déterminée d'air est introduite par la porte *g*, pendant l'opération de l'affinage afin d'aider à l'obtention d'une haute température; cet air est donc introduit dans le four d'une façon facultative.

Il nous est impossible de terminer ce qui a trait au chauffage des fours de fusion par le gaz naturel, sans parler de deux autres appareils employés avec succès dans les verreries et cristalleries d'Amérique. Cette description complète ce que nous avons dit au sujet des fours de fusion, et place cette question au niveau des progrès les plus récemment réalisés en verrerie pour le chauffage des fours.

La figure 150 représente le four Atterburg, employé en cristallerie, et qui peut être aussi employé en verrerie.

Ce brûleur perfectionné consiste en un capuchon *a* construit en briques réfractaires. Il est de forme conique et d'environ dix pouces de diamètre; il est fixé dans sa position par un barreau *b* en fer d'environ un quart de pouce de diamètre, qui passe le long du tube *c*. Ce capuchon peut varier dans le sens de sa position verticale.

Le but de ce capuchon, c'est la réfraction du gaz tandis qu'il s'échappe du tube *c*. Ainsi, il s'étend et se mélange plus intimement avec l'air, et par là augmente la combustion. Le tube *c* à gaz a trois pouces de diamètre; il s'ouvre à la partie supérieure dans toute sa dimension, le barreau tige *b* qui supporte le capuchon passant en travers. Le capuchon protège aussi la couronne *d* qui, sans lui, serait vite détériorée, si on permettait au gaz de l'atteindre directement en s'échappant du tube *c*.

L'air entre par un certain nombre d'ouvertures étroites *g* pratiquées dans le mur, au niveau du sol; on en régularise l'arrivée et le débit en les fermant avec des briques. Les gaz perdus s'échappent par les ouvertures jusqu'aux conduits *f* et vont de là à la cheminée; il suffit d'environ dix onces de pression pour assurer la marche de ce four.

Le four 151 représenté par la figure est dû à M. Joseph Anderson; il est employé à la glacerie américaine de O'Hara.

Il y a plusieurs innovations dans ce four : la première est la méthode de chauffer l'air pour la combustion; la seconde est la disposition qui permet d'employer la benzine, ou tout autre combustible liquide, par lequel on peut

conserver le four chaud, dans le cas où le gaz viendrait à manquer. Le gaz est réglé par la valve *a*; le brûleur *b* est un tube d'un demi-pouce de forme circulaire, percé de nombreux petits trous, d'environ 1 millimètre à 1 millimètre 1/2 de diamètre, et placé sous le siège du four, comme on peut le voir. Il est placé de manière que le verre (légèrement ramené en arrière), qui coule des pots cassés pour aller dans la cuve, ne le rencontre pas et n'empêche pas l'échappement régulier des gaz.

Le brûleur est à deux sections, dont l'une peut, en tout temps, être enlevée

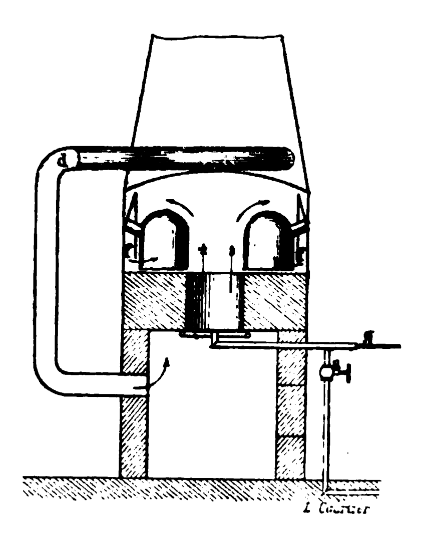


Fig. 131.

pour les réparations, ou pour toute autre cause, tandis qu'on peut, avec l'autre, conserver au four sa température, car il y a un tube fournisseur séparé pour chaque section.

L'air nécessaire à la combustion entre dans le tube régénérateur en *d*, passe par ce tube en descendant, en sort, remonte, comme l'indiquent les flèches sur le dessin, et vient en contact avec le gaz sous le siège du four en *e*. Ce tube régénérateur est fait d'une forte feuille de fer; il a environ seize pouces de diamètre; il est de forme circulaire, aussi grande que possible. On le place dans la souche de la cheminée, juste au-dessus de la voûte ou chapeau du four, de manière que la chaleur perdue, qui s'échappe par les tuyaux *f*, frappe directement sur lui, élevant la température de l'air, et aidant ainsi grandement à l'obtention d'un haut degré de chaleur pour cet air, au moment où il arrive en contact avec les gaz.

La possibilité de maintenir la chaleur dans ce four, dans le cas où le gaz viendrait à manquer pour une cause quelconque, est d'une grande importance.

La méthode d'emploi d'un combustible fluide au lieu de gaz est facile avec ce four. Le petit tube *g* est en communication avec la cuve ou tout autre réservoir qui contient le liquide destiné à la combustion, et cette cuve est élevée de manière que l'huile coule tout naturellement jusqu'au brûleur *b*. Quand on emploie le combustible liquide, la valve à gaz *a* est fermée, et une

autre valve sur le tube *g*, qui communique à la cuve, est suffisamment ouverte pour permettre au liquide de ruisseler goutte à goutte dans le brûleur *b*, où la chaleur le vaporise immédiatement, et d'où il s'échappe exactement comme le gaz; il vient en contact avec l'air chaud, et la combustion s'opère. Ce four a fait ses preuves, on y a travaillé constamment depuis le jour où, pour la première fois, on a employé le gaz naturel.

En prévision de l'épuisement des sources de gaz naturel, dont la production semble décroître, on a déjà fait l'essai, dans la région de Pittsburg, d'un gazogène alimenté par du charbon bitumineux, du coke et du pétrole. Le procédé dont nous parlons peut, paraît-il, produire un gaz de très bonne qualité et à un prix assez peu élevé pour lui permettre de lutter facilement avec le gaz de houille, et c'est probablement là le système qu'adopteront les compagnies des gaz naturels pour utiliser leurs canalisations quand ce dernier gaz viendra à manquer.

Les inventeurs de ce procédé prétendent avoir toujours attaché la plus haute importance à la qualité du gaz, et actuellement, à Louisville, il est mélangé au gaz naturel lorsque la production de celui-ci diminue par une raison quelconque, et personne n'a remarqué de diminution de valeur du gaz pendant ces périodes d'addition.

Des essais récents ont démontré que $4^{m^3},5$ de ce gaz correspondent, comme pouvoir calorifique à 3 mètres cubes de gaz naturel.

Les expériences sur l'éclairage à l'aide de ce gaz ont été faites à West-Chester et datent du mois de juin 1892.

On emploie toujours les mêmes matières, et le gaz semble bien remplir le but qu'on se propose; le public en est satisfait, et une proportion de 30 pour 100 de sa production totale est employée aux usages domestiques

L'analyse moyenne du gaz est la suivante :

Hydrogène	35,04
Gaz des marais	22,95
Oxyde de carbone	19,09
Éclairant	13,34
Azote	5,32
Acide carbonique	3,30
Oxygène	0,96
	100,00
Pouvoir éclairant	24 bougies.

A Elkhart, dans l'Indiana, une installation de ce genre, pour l'éclairage, a été montée au mois de juillet dernier.

Les appareils diffèrent quelque peu, comme construction, de ceux de West-Chester, mais la marche des opérations est la même, et les matières employées sont le charbon gras, le coke et l'huile de naphte. On est arrivé à produire un gaz de 23 bougies d'une homogénéité plus parfaite que dans le cas du gaz à l'eau carburé. Le fonctionnement se fait plus régulièrement et les objections telles que production de mâchefers et obstructions par le goudron que l'on peut faire aux appareils employant des charbons gras n'existent pas dans celui-ci. Il paraîtrait que le gaz est produit avec ces matières, en ne laissant qu'une très faible quantité de résidus.

Le goudron semble s'assimiler aux gaz dans leur passage à travers les appareils, et il ne sort qu'un gaz pur et de composition peu variable.

On arrive ainsi à produire avec des charbons gras ordinaires un gaz très riche en pouvoir éclairant, dont la composition est la suivante :

Hydrogène	37,40
Protocarbure d'hydrogène	23,20
Oxyde de carbone	19,10
Carbures lourds	14,05
Azote	3,08
Acide carbonique	2,02
Oxygène	1,15
	100,00

A Elkhart, où l'installation est très importante, toutes les matières employées sont chargées mécaniquement. L'appareil fonctionne d'une façon continue. Des serpentins de vapeur servent à surchauffer l'air secondaire ainsi que l'huile.

Fours à combustion intensive. — Dans tous les fours à gaz dont nous venons de parler, le gaz et l'air sont amenés isolément au four dans des conduits distincts. Ils débouchent dans le four en nappes superposées ou venant à la rencontre l'une de l'autre sous des angles plus ou moins prononcés.

Ce mode de distribution, en rendant la combustion non instantanée mais progressive, a l'avantage de répartir la chaleur sur une plus grande étendue, ce qui tend à uniformiser la température en tous les points du four.

Mais, par contre, on comprend qu'il ne soit possible d'obtenir une combustion complète qu'en amenant un excès d'air. Il s'ensuit que jusqu'à présent on n'a pas pu industriellement réaliser une combustion bien économique, vu que toute variation des quantités de gaz ou d'air se décèle par une diminution de la quantité de chaleur rendue libre.

Lorsque l'air est en excès, la chaleur de combinaison se trouve diminuée en raison du volume des gaz inertes entrant dans la réaction et qui s'échauffent au détriment de celle-ci.

Si le comburant est distribué avec parcimonie, une partie du combustible échappe à toute oxydation.

Pour réaliser une combustion rationnelle, M. Bandsept a adopté un dispositif permettant d'opérer, avant leur arrivée au four, le mélange intime du gaz et de l'air.

Ce mélange préalable demande, il est vrai, une certaine dépense de travail, mais elle est largement compensée par une meilleure utilisation du combustible et par la haute température de combustion.

Le combustible gazeux étant très concret et mélangé atome à atome avec l'oxygène ou l'air, il en résulte que le refroidissement produit par la dissociation est compensé à un point tel que la température observée est très voisine de celle que théoriquement peut donner le gaz employé.

D'autre part la concentration de la chaleur est poussée au maximum dans un espace très restreint.

Tels sont les principes sur lesquels repose le système de chauffage préconisé par M. Bandsept, principes dont l'application réalise le chauffage sans fumée.

Nous ne pensons pas que ce mode de chauffage puisse être utilement appliqué aux fours de verrerie, pour lesquels une flamme longue est nécessaire, mais nous avons cru devoir signaler cette innovation, qui rendra et a déjà rendu de grands services dans certains cas particuliers, en raison de l'énorme quantité de chaleur qu'elle permet de produire en un temps très court.

La fumivorité absolue qui caractérise ce procédé de chauffage est d'ailleurs une considération qui, à elle seule, suffirait à en assurer la généralisation, surtout dans les grands centres industriels, où l'énorme quantité de matières charbonneuses lancées par les cheminées d'usines ne laisse pas que de présenter des inconvénients sérieux pour le voisinage.

GAZOGÈNES.

Nous avons donné plus haut la description du générateur à gaz primitif de Siemens et nous avons indiqué les modifications qui y ont été apportées.

Depuis lors, on a construit de nombreux types de gazogène en conservant aux uns le tirage libre et en aidant à la production des autres par injection d'air, de vapeur ou d'un mélange d'air et de vapeur.

Nous nous occuperons tout d'abord des premiers.

Gazogènes à tirage libre. — On sait que le décrassage des grilles est la principale difficulté que l'on rencontre dans l'emploi des gazogènes. C'est une opération toujours pénible pour les ouvriers et en même temps défectueuse au point de vue de l'utilisation du combustible, en ce sens qu'elle occasionne un déchet considérable.

Dans le cas de gazogènes à grilles inclinées, on procède au décrassage en se servant de fausses grilles ou barreaux taillés en pointe que l'on enfonce dans la masse des scories jusqu'à ce qu'elles viennent s'appuyer sur le mur formant le fond des gazogènes. Ces grilles soutiennent le combustible pendant que, après avoir enlevé les barreaux formant la grille ordinaire, on procède à l'extraction des mâchefers. On replace ensuite la grille, puis on enlève les barreaux mobiles.

Dans certains cas on compose la grille de barreaux de section carrée, en ayant soin de ménager dans le fond un vide de 15 à 20 centimètres.

L'ouvrier fait alors glisser les scories vers ce vide et les fait tomber, en prenant la précaution de conserver assez de scories pour obstruer à la fin du nettoyage ce vide laissé à dessein.

Afin de rendre les mâchefers moins adhérents aux barreaux de la grille, on dispose très généralement dans le cendrier une bâche à eau. L'évaporation de l'eau amène un refroidissement des barreaux et facilite beaucoup les nettoyages en même temps qu'elle augmente la durée des grilles.

Nous ajouterons que, par sa décomposition au contact du coke incandescent,

la vapeur d'eau introduite ainsi en faible quantité se transforme complètement en oxyde de carbone et hydrogène qui enrichissent le gaz sans porter préjudice à l'allure des gazogènes.

Grilles Perret. — C'est dans cet ordre d'idées et pour assurer aux grilles une durée pour ainsi dire illimitée que M. Michel Perret a construit des barreaux à grande surface, plongeant sur une notable partie de leur hauteur dans l'eau d'une bâche placée sous le foyer.

Les gazogènes qui sont munis de semblables grilles ont une allure vive, ce qui résulte de la surface de passage relativement grande qui est offerte à l'air.

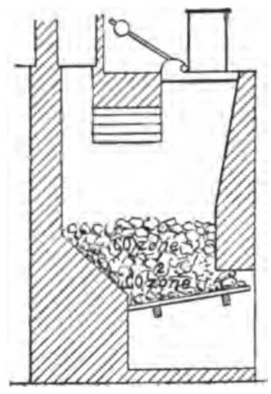


FIG. 152.

En outre le gaz produit est plus riche en éléments combustibles que celui qui est fourni par les gazogènes ordinaires Siemens, ainsi qu'on peut le voir par les analyses ci-dessous.

	Gazogène ordinaire Siemens.	Gazogène à grille Perret.
	—	—
Acide carbonique	4,00	5,00
Oxyde de carbone	24,50	24,00
Carbure d'hydrogène	3,50	3,50
Hydrogène	6,00	12,50
Azote	62,00	55,00
	100,00	100,00

Gazogène Ingham. — Comme nous venons de le dire, il est peu de gazogènes qui échappent à la critique sous le rapport de la facilité de nettoyage et de l'enlèvement des cendres et des mâchefers.

Le gazogène Ingham (fig. 153) a été construit pour donner toute satisfaction à ce sujet.

Les deux portes de nettoyage sont placées en face l'une de l'autre, et il y a un pont central qui sert à soutenir la masse du combustible chargé.

Les dispositions sont telles qu'une barre puisse passer par une porte et sortir par l'autre porte après s'être engagée sous le pont.

Il existe un tuyau de cheminée central situé sous le pont, par où une partie

des cendres est évacuée. Ce même tuyau sert à amener l'air nécessaire à la combustion.

Un coup d'œil jeté sur la figure montrera que toutes les parties de la charge de combustible sont accessibles à l'action de la barre, au brisement et

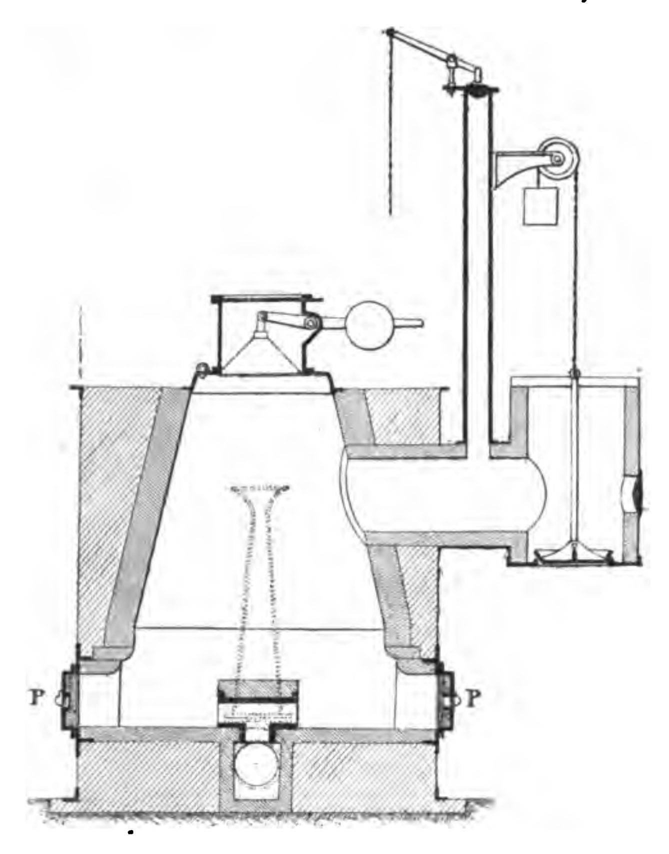


Fig. 153.

à l'enlèvement des mâchefers, de manière à garder le feu libre et ouvert. Un autre grand avantage de cette disposition, c'est que les portes de nettoyage restent froides et par conséquent ne se déjettent ni ne se tordent.

M. Liegel, de Stralsund (Poméranie), a imaginé dans ces derniers temps un foyer avec lequel il obtient des résultats remarquables.

Les figures 154, 155 rendent compte de la disposition de ces foyers :

Ce qui caractérise ces foyers, c'est l'absence de toute grille : il y a à la partie inférieure de la capacité où doit s'opérer la transformation du combustible en oxyde de carbone, une sorte de fente de 1 mètre de long environ, et formée soit par deux pièces réfractaires accouplées, soit par deux barres de fer. C'est cette disposition qui constitue le principal mérite de l'invention et qui la caractérise. La forme conique du foyer, et son rétrécissement, jusqu'à cette fente, permettent à l'air nécessaire à la première transformation de passer au centre même du

combustible sans suivre les parois du foyer : on arrive ainsi à ce que la moins grande quantité d'air possible traverse la masse de combustible sans être brûlée. Il résulte de cette disposition que la température est assez élevée, à très peu de distance des lèvres de la fente, pour que les mâchefers s'y maintiennent en fusion et puissent être éliminés d'une manière continue en coulant d'eux-mêmes. Tout le travail consiste à surveiller de temps en temps cette fente, afin de faciliter la chute des scories qui tendent à se figer et afin de faire varier à volonté la longueur libre de cette fente, ce qui permet de la façon la plus simple d'activer ou de modérer l'allure.

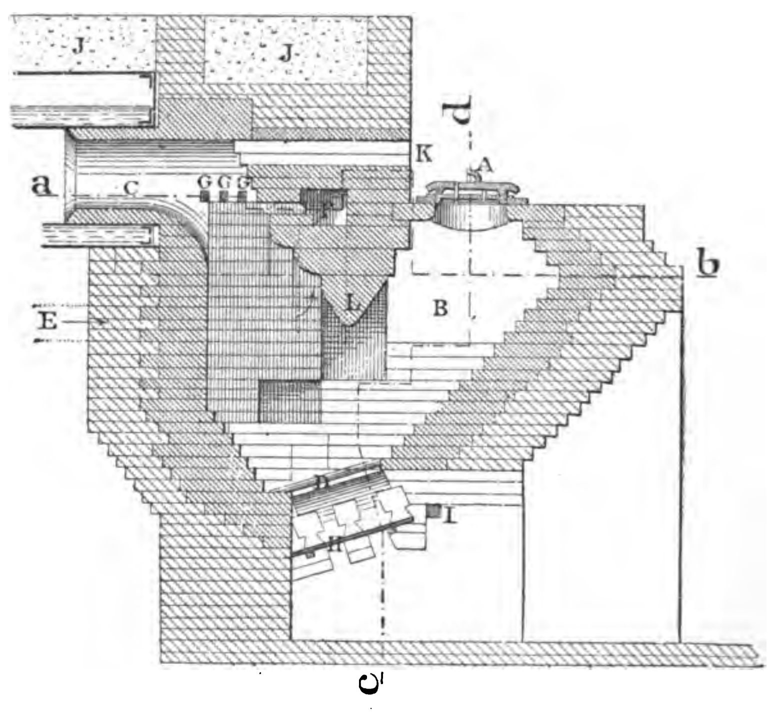


Fig. 154.

Il n'y a donc à effectuer aucune espèce de décrassage, d'où une allure absolument continue et la possibilité d'employer les combustibles les plus chargés d'impuretés.

Ces foyers sont appliqués aux usines à gaz de Lyon et donnent d'excellents résultats, par leur simplicité, par la régularité de leur marche, par l'économie de combustible. A Berne, où l'on a employé ces foyers presque au début de leur invention, il en existait, il y a peu de temps, qui étaient en activité depuis plus de quatre ans et qui n'avaient pas été réparés.

M. Cramponne, ingénieur principal de la Compagnie du gaz de Lyon, a communiqué récemment à la Société de soieries industrielles de Lyon des détails sur ces gazogènes ; M. Cramponne a même traduit les points principaux du discours de M. Liegel à la session des gaziers de Milan en mai 1881 :

« Dans chaque foyer, il y a quatre causes qui empêchent de profiter du rendement théorique de la combustion :

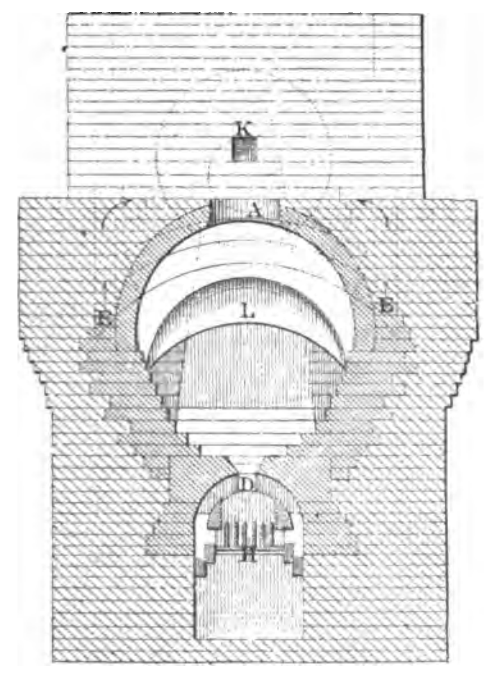


Fig. 155.

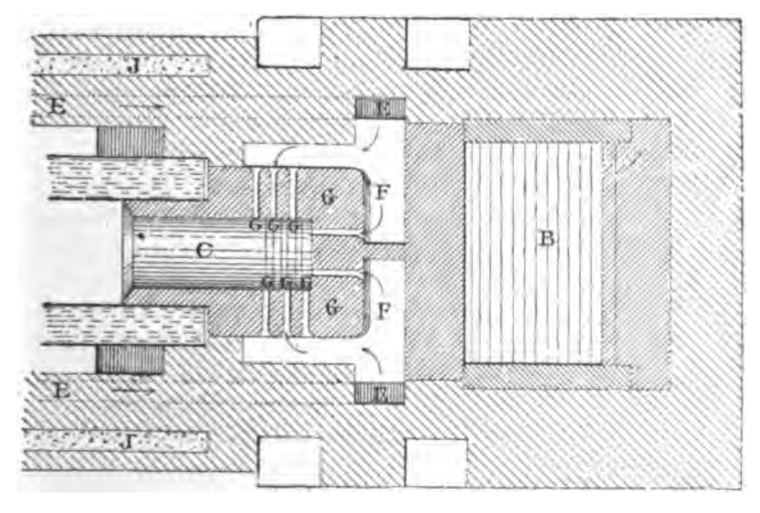


Fig. 156.

» 1° La perte de chaleur par le rayonnement du massif dans l'air et par la

conductibilité du sol. Nous pouvons nous mettre à l'abri de cette cause, dans une certaine mesure, par l'emploi des matériaux les moins conducteurs de la chaleur ;

» 2° La perte de chaleur par les produits de la combustion qui s'échappent. Ils possèdent toujours au moins la température de la dernière partie des objets à chauffer. Si cette température est élevée, comme dans les foyers à grands feux, on peut en regagner une grande partie en chauffant l'air nécessaire à la combustion, ou en produisant de la vapeur si on en a besoin. Mais il faut toujours laisser échapper la quantité de chaleur nécessaire à l'aspiration de la cheminée ;

» 3° La perte de chaleur par l'impureté des combustibles. Les deux combustibles qui donnent la chaleur dans nos foyers par leur union chimique, le carbone et l'hydrogène d'une part, et l'oxygène de l'autre, ne nous sont pas livrés à l'état de pureté par la nature. Les cendres, les scories solides sont portées à la température du combustible : loin de fournir de la chaleur, elles ne font qu'en absorber pour fondre.

» L'oxygène de l'air est mêlé avec quatre fois son volume d'azote. Cet azote doit être chauffé. Il en résulte que la même quantité de chaleur se répartissant sur une plus grande quantité de gaz, la température diminue tandis que la vitesse des produits de la combustion augmente. On pourrait employer au chauffage de l'oxygène pur. Mais, outre que les frais de ce procédé l'empêchent de devenir pratique, la difficulté de se procurer des matériaux qui résistent aux énormes températures développées force à y renoncer ;

» 4° La perte de chaleur par la combustion imparfaite du fait de l'emploi de l'air dans de mauvaises conditions. C'est là-dessus que je veux insister.

» Pour profiter des avantages d'une combustion aussi parfaite que possible, il faut d'abord construire le foyer de manière qu'il ne puisse pas y entrer d'air superflu. Dans un foyer vertical dont le fond serait entièrement occupé par une grille, l'air tendra toujours à monter le long des parois lisses, tout aussi bien et mieux que par les interstices plus ou moins chicanés du combustible. Diminuons les dimensions de la grille dans un sens, cet inconvénient diminuera. Si l'on va à l'extrême et qu'on réduise une des dimensions à celle d'une simple fente, on arrive au premier principe fondamental de mon système.

» Pour être sûr, en tous cas, que l'air ne touche jamais les parois (ou le moins possible) je construis le foyer en l'élargissant très rapidement à partir de la fente. En outre, j'évite les surfaces lisses en faisant toutes les parois en gradins. C'est là mon deuxième principe fondamental.

» La couche de combustible doit être la plus mince possible afin de ne nécessiter qu'un faible tirage : elle doit cependant être assez grande pour que l'oxygène qui la traverse puisse être entièrement brûlé.

» Moins le combustible est gros, plus la couche peut être faible.

» Suivant les cas, la hauteur de la couche de combustible peut varier de 10 à 80 centimètres. L'expérience peut seule en décider. Mais il est bon d'avoir pour chaque cas un moyen de faire varier cette épaisseur suivant les besoins. Pour cela, dans mes fours, je fais la fente plus longue qu'il ne faut et inclinée. On fait varier la hauteur du combustible en dégageant la partie de la fente qu'on juge nécessaire, soit à l'avant, soit à l'arrière.

» Il faut que les quantités d'air qui traversent le combustible soient aussi régulières que possible. Pour cela trois conditions sont à remplir :

» 1° L'épaisseur de la couche de combustible doit rester sensiblement égale. On obtient cela avec un magasin de combustible aussi grand que possible.

» 2° Les résidus non combustibles (scories ou mâchefers) qui se séparent du combustible doivent être éliminés continuellement afin que l'air entrant trouve toujours approximativement les mêmes passages entre les morceaux de combustible. On sait que sur les grilles ordinaires, plus les intervalles des décrassages sont considérables, plus la combustion est mauvaise. Le seul moyen de s'approcher le plus possible de l'idéal est d'arriver à l'évacuation automatique des mâchefers par la fente. Ceci est le troisième principe fondamental de mon système : car j'ai réalisé ce fait que, dans mes foyers, toute cendre fond et coule automatiquement par la fente. Qu'ils soient facilement ou difficilement fusibles, je suis parvenu à faire écouler facilement tous les mâchefers : il suffit pour ces derniers de faire un petit feu secondaire sous la fente, petit feu naturellement entretenu d'ailleurs par les petits morceaux de combustible qui tombent. Tout le travail de l'ouvrier consiste à nettoyer de temps en temps (toutes les demi-heures, toutes les vingt minutes au plus) les lèvres de la fente pour faire tomber les scories adhérentes.

» 3° Il est nécessaire que la force du tirage soit aussi égale que possible. »

L'auteur énumère ici les précautions à prendre pour la manœuvre des registres destinés à rendre le tirage aussi constant que possible et les contrôles à faire par le moyen de manomètres installés à cet effet. Les procédés qu'il décrit n'ont rien de spécial et sont d'une application générale.

Il décrit ensuite son procédé de récupération de la chaleur pour chauffer l'air nécessaire à la combustion. L'inspection du dessin en dit assez pour que je ne le suive pas dans les longues explications qu'il donne à ce sujet.

« Quant à la durée de mes foyers, poursuit-il, on doit distinguer entre les briques qui n'ont qu'à supporter la chaleur et celles qui sont touchées par la scorie liquide. Les premières, beaucoup de fabriques les fournissent convenablement aujourd'hui. Mais il n'y a pas de briques qui puissent résister à la scorie liquide ; jamais on n'en fera, car il y a là une combinaison chimique destructrice. Il n'y a qu'un seul moyen de conserver le foyer, c'est de s'arranger en sorte que les mâchefers coulent constamment sur des mâchefers figés. C'est ce qui se réalise fort bien dans mes fours, soit à l'orifice de la fente, soit sur les gradins du foyer. Il en résulte que les blocs réfractaires n'ont jamais besoin d'être changés et que les foyers en un mot ont une durée indéfinie.

» Mes générateurs permettent de faire des arrêts sans qu'il soit nécessaire d'enlever le combustible. Il faut brûler pendant ces interruptions le coke nécessaire pour compenser la perte de chaleur par rayonnement. On a dû pousser ces arrêts jusqu'à soixante-douze heures. »

Suivent les descriptions de fours construits dans différentes conditions de profondeur. Ces descriptions n'ont pas leur place ici.

GAZOGÈNES SOUFFLÉS.

Gazogène Taylor modifié par MM. Fichet et Heurtey (fig. 157). — La grille, qui dans le gazogène ordinaire supporte le combustible incandescent, est

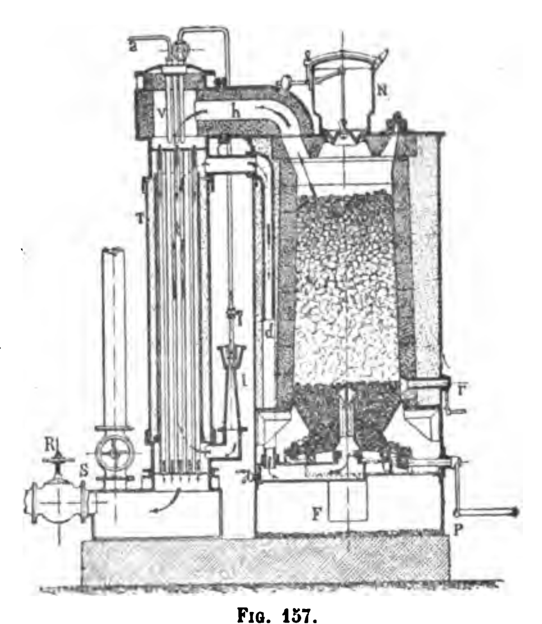


Fig. 157.

Description et fonctionnement de l'appareil Fichet et Heurtey.

a. Arrivée de vapeur.
V. Surchauffeur de vapeur.
h. Canal de sortie des gaz chauds.
t. Faisceau tubulaire dans lequel descendent les gaz chauds.
I. Souffleur.
d. Tuyau d'amenée au gazogène, de l'air soufflé, humide et surchauffé.
r. Regard.
N. Trémie de chargement du combustible.
F. Cendrier.
P. Manivelle de décrassage.
T. Enveloppe calorifuge du faisceau tubulaire.
S. Socle à cendres.
R. Valve de distribution.

supprimée et remplacée par une sole horizontale portée sur boulets et pouvant tourner autour d'un axe vertical.

Cette sole est toujours recouverte d'une couche épaisse de mâchefers vers le haut de laquelle est ménagée l'arrivée du mélange soufflé d'air et de vapeur.

Cet air humide se répartit au milieu de la masse perméable de mâchefers; il empêche la fusion des cendres et arrive uniformément à la couche de combustible.

Pendant la combustion il se forme de nouveaux mâchefers qui se superposent aux premiers, et le niveau de la zone incandescente s'élèverait progressivement, si de temps en temps on ne faisait ébouler par le bas une certaine quantité de mâchefers en imprimant à la sole un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle actionnée de l'extérieur.

Le décrassage s'effectue ainsi en pleine marche, en quelques instants, sans ouverture des portes et sans donner lieu à aucun déchet.

Ce dispositif imaginé par Taylor est appliqué depuis plusieurs années en Amérique avec succès, dans un grand nombre d'industries.

On décrasse toutes les six ou douze heures, suivant la pureté du combustible, et tous les deux ou trois jours on retire les mâchefers éboulés en ouvrant la porte du cendrier.

Des regards ménagés sur la paroi extérieure du gazogène permettent de surveiller la marche du feu et de voir quand il convient de décrasser.

Le chargement du combustible se fait à la partie supérieure au moyen d'une trémie à double fermeture qui empêche toute communication avec l'air.

L'appareil fonctionne sans surveillance ni soins spéciaux.

Il peut être confié à un simple manœuvre.

Dans certains cas on le munit d'un régulateur automatique qui modère ou active la production du gaz suivant les besoins de la consommation.

On n'avait jamais pu, jusqu'ici, souffler les gazogènes ordinaires avec de l'air très chargé en vapeur d'eau, sans risquer d'en troubler la marche et sans ajouter aux gaz combustibles une forte proportion d'acide carbonique.

Dans l'appareil Fichet et Heurtey, on soufffe avec de l'air chaud saturé de vapeur sans aucun inconvénient pour l'allure du foyer. La vapeur se transforme complètement en gaz à l'eau. Ce résultat est obtenu en surchauffant très fortement l'air humide envoyé par le souffleur et en combattant ainsi par un apport continu de calories le refroidissement du foyer dû à l'action de la vapeur d'eau.

Il est assez rare que la consommation du gaz soit absolument régulière; il convient donc pour répondre à tous les besoins, de pouvoir faire varier l'intensité de la production.

La disposition de l'appareil lui permet de se prêter à des variations trés étendues, parce qu'elle réalise automatiquement le surchauffage à température constante de l'air soufflé en plus ou moins grande quantité.

Le problème a été résolu en utilisant pour la surchauffe de l'air soufflé la chaleur que possèdent les gaz à leur sortie du gazogène qu'ils quittent à 700 ou 800 degrés. Cette chaleur, jusqu'ici perdue, a trouvé son utilisation et un excellent mode d'emploi.

Les gaz sortent à une température constante; leur quantité est exactement proportionnelle à la quantité d'air soufflé; on voit donc que cette source de chaleur est tout à fait apte à produire la surchauffe à température constante d'une quantité variable d'air soufflé.

La disposition de l'appareil est très simple. Les gaz traversent un faisceau tubulaire dans lequel, grâce à une circulation méthodique, ils transmettent leur chaleur au mélange d'air et de vapeur circulant en sens inverse

L'air est envoyé par un souffleur à vapeur qui permet de faire varier son degré d'humidification, le débit et la pression du mélange soufflé.

En résumé, par l'utilisation, avant toute combustion, de la haute température des gaz à leur sortie des gazogènes, on obtient sans aucune dépense :

Un abaissement de température du foyer suffisant pour empêcher la fusion et le collage des mâchefers;

L'augmentation de pouvoir calorifique du gaz à l'air ou gaz pauvre par l'adjonction du gaz à l'eau produit par la vapeur décomposée dans le foyer, atteint presque 50 pour 100 de celle du gaz produit par l'air seul.

Gazogène Sagnier. — Le gazogène dont M. Sagnier est l'inventeur, est un appareil soufflé à l'air et à la vapeur. Cet appareil ne diffère pas en principe des nombreux types employés jusqu'ici (Lencauchez, Dawson, Wilson). M. Sagnier a cherché à éviter les inconvénients que présentent les appareils similaires, inconvénients qui sont dus à la présence dans l'air injecté sous la grille soit d'un excès d'air, soit d'un excès de vapeur.

Dans le cas où la quantité d'air est trop considérable par rapport à la quantité de vapeur, on a une allure trop vive des gazogènes, faible pouvoir calorifique du gaz, usure rapide des barreaux et production exagérée de mâchefers, d'où grande difficulté pour le décrassage de l'appareil.

Si au contraire la vapeur d'eau est en excès par rapport à l'air, il en résulte un refroidissement trop considérable, une allure lourde et irrégulière du gazogène.

Pour parer à ces inconvénients, M. Sagnier fait usage d'un injecteur de vapeur, sorte de koerting à faible rendement dont on peut réduire l'allure en ouvrant plus ou moins l'arrivée de vapeur. La pression de celle-ci n'excède pas 1 1/2 kilogramme.

Ces gazogènes consomment un mélange composé le plus ordinairement de :

1/3 fines grasses à 1 centimètre de Courrières;

2/3 fines maigres lavées d'Anzin.

Il suffit, paraît-il, d'un seul dégrillage par 24 heures.

Composition du gaz. — En moyenne, le gaz contient les proportions ci-dessous en éléments combustibles :

Oxyde de carbone.	22 à 24
Carbures d'hydrogène.	3 à 4
Hydrogène.	12 à 15

Il n'a pas encore été fait d'application des gazogènes Sagnier en verrerie (l'invention ne date d'ailleurs que de quelques mois), mais il y a tout lieu de croire que ces appareils se comporteront tout aussi bien que les gazogènes soufflés similaires qui fonctionnent dans la plupart des verreries du Nord.

En ce qui concerne une application possible en glacerie, on peut se demander si ces gazogènes rempliront les conditions essentielles de régularité dans la production et la composition du gaz combustible.

Nous croyons devoir citer ici une application nouvelle et très intéressante du gaz de gazogène Sagnier, qui a été faite par M. Douin, directeur de l'émaillerie de Beuvrages (Nord), au chauffage des chaudières à vapeur.

Comme la combustion d'un gaz de gazogène demande, pour être parfaite, le concours d'air chaud et que dans le cas d'un chauffage de générateurs à vapeur il ne pouvait être question d'établir de régénérateurs pour l'air (les produits de combustion quittant nécessairement l'extrémité de la chaudière à une température trop basse), M. Douin a eu l'idée de chauffer l'air par la combustion anticipée d'une partie du gaz combustible.

Le principe est celui-ci. Sur le conduit de gaz A (fig. 158) sont établis deux branchements *a b* par lesquels s'échappe une fraction du courant de gaz combustible. La totalité de l'air nécessaire à la combustion pénètre dans le brû-

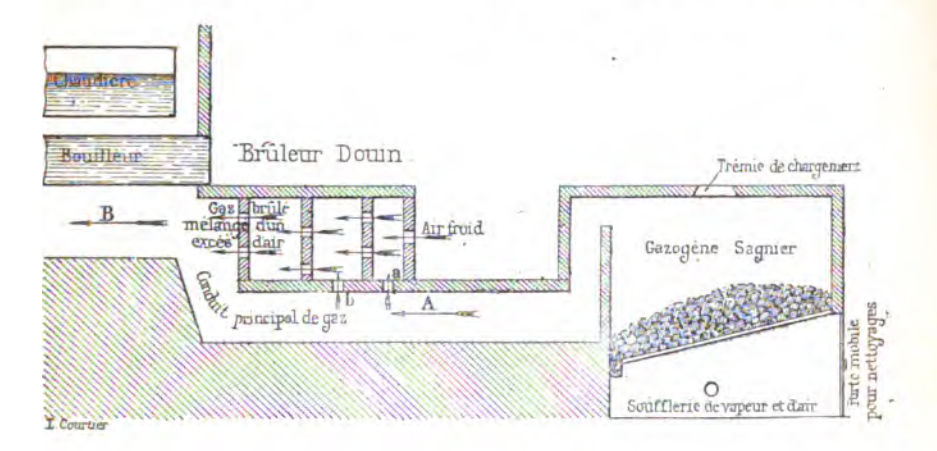


Fig. 158.

leur par les orifices *o o* pratiqués dans la maçonnerie. Une partie de cet air détermine la combustion des dérivations de gaz *a b*. L'excès d'air mélangé à une certaine quantité de gaz brûlés se trouve (du fait de cette combustion partielle) porté à une température très élevée, ce qui assure une combustion parfaite de la masse principale de gaz débouchant en B sous le bouilleur, et rencontrant en ce point les produits des premières combustions.

La mise en pratique de ce mode de chauffage a permis à M. Douin de chauffer ses chaudières avec un combustible menu à bas prix et de réaliser une économie de 25 pour 100 par rapport au chauffage ordinaire sur grille. Le seul inconvénient que présente ce mode de chauffage est l'encombrement produit par le gazogène dont les dimensions doivent être d'autant plus considérables que le combustible est de qualité plus faible; mais si on remarque que le gazogène peut être placé aussi loin qu'on le veut du générateur de vapeur, l'inconvénient se trouve par cela même supprimé ou tout au moins fortement atténué.

Dans le même ordre d'idées, nous signalerons une application toute récente

au chauffage des chaudières qui a été faite par M. Frère, de Saint-Quentin. M. Frère a fait breveter un gazogène à tirage libre ayant beaucoup d'analogie avec les foyers des fours Boétius. Cet appareil donne d'excellents résultats : il permet de réaliser une économie de 50 pour 100 sur le prix d'achat du combustible.

Gaz à l'eau. — La fabrication du gaz à l'eau a pris une importance considérable en Amérique (États-Unis), où on l'a surtout utilisé à l'éclairage.

En Europe on n'a encore fait que de rares applications de ce gaz soit pour l'éclairage, soit pour le chauffage industriel.

Pour utiliser le gaz d'eau à l'éclairage, il faut lui donner le pouvoir éclairant qui lui manque, en le carburant au moyen de dérivés du pétrole. C'est ce qu'on pratique aux États-Unis, où la houille à gaz est très rare, et dont les gisements sont tellement éloignés des grands centres de consommation, qu'il est moins coûteux de la faire venir d'Angleterre.

En revanche on trouve aux États-Unis de l'anthracite et du pétrole à bon marché, de sorte que, malgré les inconvénients que présente le gaz à l'eau, il y a intérêt à l'employer pour l'éclairage.

Nous dirons d'abord quelques mots de ce mode d'utilisation du gaz à l'eau, et nous étudierons ensuite sa valeur comme gaz combustible pour le chauffage des fours.

Le gaz à l'eau est obtenu dans des gazogènes à air soufflé, et par intermittence avec du gaz ordinaire (à l'air) de gazogène. Au début, le gazogène est soufflé au vent et l'on obtient ainsi un gaz semblable à celui que donnent les appareils Siemens, c'est-à-dire un mélange d'oxyde de carbone et d'azote. Cette première période se termine quand le foyer atteint une température suffisamment élevée, ce que l'on peut juger par des regards. A ce moment, on arrête la soufflerie et on fait arriver un courant de vapeur.

La vapeur d'eau au contact du charbon incandescent se décompose en produisant de l'hydrogène et de l'acide carbonique.

Ce mélange, en traversant les couches supérieures du coke incandescent, se dépouille de son acide carbonique, lequel se transforme en oxyde de carbone.

On obtient finalement un gaz dont la composition moyenne est sensiblement :

CO.	47
H	46
CO^2.	3
Az.	4
	100

On cesse d'introduire la vapeur quand la température n'est plus suffisamment élevée pour permettre la réduction de CO^2; on remet alors en marche la soufflerie d'air et ainsi de suite.

Dans des essais faits sur l'emploi du gaz d'eau en 1872, par M. Tessié du Mothay, on soufflait de l'air pendant 10 minutes, puis de la vapeur pendant

5 minutes; les insufflations d'air et de vapeur se reproduisant alternativement pendant les mêmes intervalles de 10 et 5 minutes.

Comme le gaz d'eau et le gaz de gazogène, ainsi obtenus, ont une puissance calorifique bien différente, on les recueille chacun dans un gazomètre distinct, en utilisant le gaz d'air au chauffage des fours, et réservant le gaz d'eau pour l'éclairage. Quoique le gaz à l'eau soit, à volume égal, d'un prix moins élevé que le gaz d'éclairage, il n'est pas encore établi d'une manière bien précise si le prix de revient par bec, à intensité lumineuse égale, est plus faible dans le cas du gaz à l'eau.

En effet le volume de gaz à fournir, devant être double du volume de gaz d'éclairage produisant le même effet utile, les frais généraux sont accrus de même que les frais de canalisation, de distribution et de pertes de gaz par les conduites; il faut encore joindre à ces frais ceux qui sont occasionnés par la carburation.

A ce sujet, nous ferons remarquer que le docteur Laffont — le défenseur de la cause du gaz à l'eau — rejette la carburation du gaz, et qu'il préfère accroître l'intensité lumineuse en produisant une sorte de lumière Drummond. L'appareil qu'il recommande dans ce but est dû à M. Otto Fahnehjelm, ingénieur suédois.

Il est formé d'un peigne à carcasse métallique, dont la denture est composée d'aiguilles de magnésie à peu près de la grosseur d'une allumette-bougie. Ce peigne se fixe au-dessus d'un bec Manchester, et, comme il offre une grande surface de rayonnement, il donne à la flamme un aspect très satisfaisant

Par ce moyen, on réalise une grande économie, quant à la quantité de gaz dépensée; ainsi, on a trouvé qu'à consommation égale, le gaz d'eau accuse au photomètre une intensité lumineuse plus considérable que le gaz de la ville de Paris. Malheureusement le prix très élevé des aiguilles de magnésie, et leur peu de durée (60 à 80 heures), réduit à peu de chose l'économie ainsi réalisée sur le volume de gaz consommé.

Au point de vue hygiénique, les idées émises sur le gaz d'eau sont absolument contradictoires. Quoique ce gaz renferme près de 50 pour 100 d'oxyde de carbone, dont les propriétés toxiques ne sont pas mises en doute par le docteur Laffont, cet hygiéniste n'admet pas que le gaz d'eau soit plus dangereux que le gaz d'éclairage. Il reproche à ce dernier d'absorber trop d'oxygène en brûlant, et de dégager par conséquent un volume considérable d'acide carbonique et de vapeur d'eau; en outre, dit-il, la combustion, toujours imparfaite, donne naissance à de l'acétylène, laisse échapper de l'oxyde de carbone et des vapeurs sulfureuses.

Tous ces produits ne sont pas à redouter lorsqu'on brûle du gaz d'eau, car la combustion qui se produit sur une petite surface est toujours complète à cause de la température, en sorte que — et nous citons textuellement — « le gaz d'eau qui dans les conduits peut être considéré aussi vénéneux que le gaz de distillation, l'est en réalité moins lorsqu'on le brûle. »

Et le docteur Laffont ajoute en s'appuyant sur l'autorité de son confrère, le

professeur Chandler, président du Conseil d'hygiène à New-York, que le gaz est *acheté pour être brûlé et non pour être aspiré.*

Ceci est parfaitement exact; mais il est également vrai que s'il se produit une fuite dans un appartement, il se trouvera bien vite dans l'air une dose d'oxyde de carbone suffisante pour occasionner des accidents graves ou même la mort; ces accidents sont beaucoup moins à craindre avec le gaz ordinaire d'éclairage qui est beaucoup moins toxique et dont l'odeur décèle la présence bien avant que l'air soit devenu irrespirable.

On a cherché, et on est arrivé par l'emploi de mercaptan à communiquer au gaz à l'eau une odeur qui permet d'être rapidement fixé sur les fuites qui pourraient se produire; malgré ce perfectionnement, la plupart des commissions d'hygiène qui ont traité la question, ont prescrit une série tellement longue de précautions qu'elle équivaut à une proscription absolue.

Laissant de côté l'utilisation du gaz d'eau pour l'éclairage, comparons ce gaz au gaz ordinaire de gazogènes et cherchons à prévoir quel sera son avenir comme combustible.

Nous avons calculé que 1 kilogramme de carbone transformé en gaz à l'eau fournit $3^{m^3},72$ d'un gaz composé à volumes égaux de :

$1^{m^3},86$ oxyde de carbone donnant.	5.592 calories.
$1^{m^3},86$ hydrogène.	4.846 —
Soit au total.	10.438 calories.

La température de combustion sans excès d'air étant 2.758 degrés (nous admettons qu'on peut comparer entre eux divers combustibles par la détermination de la température dite théorique), le volume total des produits de la combustion serait :

$$\underset{CO^2}{1^{m^3},86} + \underset{HO}{1^{m^3},86} + \underset{Az}{7^{m^3},44} = 11^{m^3},16$$

soit 3 fois le volume du gaz combustible.

Dans le cas du gaz à l'air, nous trouvons que 1 kilogramme de carbone fournit:

$1^{m^3},86$ oxyde de carbone et $3^{m^3},72$ azote, soit $5^{m^3},58$ de gaz dont la puissance calorifique est 5.592 calories. La température de combustion sans excès d'air serait 1.818 degrés, et le volume occupé par les produits brûlés $9^{m^3},30$, soit 1,66 fois le volume gazeux primitif.

Des chiffres ci-dessus nous pouvons conclure qu'avec un poids donné de carbone transformé en gaz à l'eau on obtiendra (comparativement à ce que le même poids de carbone fournirait après transformation en gaz à l'air) :

1° Un volume de gaz combustible moins considérable quoique contenant une quantité double d'éléments combustibles, ce qui permettra de faire usage de gazogènes plus petits et par suite plus faciles à conduire ;

2° Un volume plus considérable de gaz brûlés, d'où possibilité de chauffer un espace de plus grande capacité sans dépenser plus de combustible ;

3° Une température plus élevée de 939 degrés (2757—1818 degrés), ce qui abrégera la durée du travail au four.

Nous n'ignorons pas que les avantages signalés ci-dessus ne sont pas obtenus gratuitement, nous admettons même qu'il faudra fournir aux gazogènes une quantité de chaleur au moins égale, peut-être même supérieure à celle qu'on obtiendra comme excédent au four; mais quand bien même on serait en perte du côté des gazogènes, n'existe-t-il pas certains cas particuliers où, la nécessité d'obtenir au four une température plus élevée que celle que peut donner le gaz à l'air, rendra cette perte plutôt fictive que réelle? Ce sera une quantité négligeable en raison des avantages qu'on retirera, dans ces cas particuliers, de l'emploi du gaz à l'eau.

En résumé, nous ne mettons pas en doute que, étant donnés les perfectionnements apportés dans la construction des appareils destinés à produire le gaz à l'air, ce gaz, soit produit plus économiquement qu'un égal volume de gaz d'eau, mais nous notons que ce dernier, en raison de son pouvoir calorifique élevé, de l'accroissement considérable de volume qui résulte de sa combustion et de la haute température qu'il permet d'obtenir, est appelé à remplacer le gaz d'air dans la plupart de ses applications, surtout dans celles qui nécessitent une température élevée.

On trouvera (pl. XII *bis*) la description du gazogène pour gaz d'eau qui fonctionne aux usines d'Essen. Cet appareil fonctionne comme suit : quand le gazogène a été chargé à la hauteur voulue et a fonctionné un certain temps à l'air, comme un gazogène ordinaire, on interrompt l'arrivée de l'air et on commence le fonctionnement en gaz à l'eau. Pour cela on ferme les soupapes *c* et *b* et on ouvre *f* et *d*. Les périodes de production de gaz d'eau durent de 3 à 5 minntes, et celles du soufflage à l'air de 8 à 10 minutes. Les scories sont enlevées 4 à 5 fois par jour.

Si le générateur ne fonctionne pas la nuit, il suffit de laisser faiblement ouvertes la porte *h* et la soupape *b*. Le lendemain matin on ferme les portes et après un fonctionnement d'une demi-heure à une heure avec la soufflerie d'air, on peut commencer la production du gaz à l'eau.

Pour terminer nous donnerons la description du gazogène Loomis, dont le trait caractéristique est d'être basé sur le principe des courants descendants.

L'appareil (pl. XII *ter*) se compose d'un générateur, d'un réfrigérant et d'un aspirateur actionné par une petite machine à vapeur.

Le générateur cylindrique de 3 mètres de diamètre sur 3^m,70 de hauteur est construit en forte tôle et est garni à l'intérieur d'une chemise en matériaux réfractaires. A côté du générateur et en relation avec lui se trouve le réfrigérant qui n'est, en réalité, qu'une chaudière verticale du système tubulaire; les gaz en la traversant se refroidissent en produisant la vapeur nécessaire au moteur et à la fabrication du gaz d'eau.

L'air est introduit par le haut du générateur, il est entraîné vers le bas de l'appareil en traversant la couche de combustible en ignition et se transformant en gaz qui se concentre au fond de l'appareil d'où il passe par le réfrigérant.

Dès que la partie inférieure du charbon est rendue incandescente, l'aspira-

tion est arrêtée; on ferme l'entrée d'air et l'on introduit de la vapeur par le bas de l'appareil. Cette vapeur est instantanément décomposée et le gaz d'eau ainsi produit traverse le combustible pour être capté et dirigé dans le gazomètre.

Le courant descendant obtenu par l'aspiration présente un grand nombre d'avantages : les cendres sont attirées dans le cendrier, la formation des mâchefers est complètement évitée, et par suite le nettoyage de l'appareil est rendu très facile; les vapeurs grasses, les goudrons et huiles schisteuses que distillent les couches supérieures fraîchement chargées, sont entraînés dans la couche inférieure incandescente et transformés en hydrocarbures fixes de grande valeur. L'air, en passant de haut en bas, se chauffe successivement avant d'atteindre la partie de la masse en incandescence et par suite il se produit une plus forte proportion d'oxyde de carbone.

Un avantage essentiel du procédé Loomis, est que le gaz d'eau qu'il permet de fabriquer possède une odeur caractéristique qui lui est communiquée par les hydrocarbures.

CHAPITRE III

LES FOURS A BASSIN, OU A CUVE, C'EST-A-DIRE SANS CREUSETS

Les nombreuses interruptions de travail qu'occasionne la casse des creusets par suite de l'amincissement de leurs parois, par d'autres causes accidentelles, la place perdue dans les fours entre les creusets, l'irrégularité d'allure des différents creusets entre eux, ont éveillé depuis longtemps l'idée de remplacer ces creusets par un creuset unique embrassant toute la capacité du sol des fours. Cette idée a conduit à la construction des fours à bassin.

Quand on porte à la fusion une masse vitrifiable, la densité de la masse vitrifiée est en raison directe du degré d'affinage, de finesse, du verre ainsi obtenu.

Monod, verrier à Pantin, a essayé le premier, croyons-nous, l'emploi des creusets cloisonnés. Il en a fait usage pendant plusieurs mois pour la fusion du verre à bouteilles. Des circonstances indépendantes de sa volonté l'empêchèrent de donner suite à cette idée.

Depuis, M. Siemens a construit des creusets continus dans lesquels les trois phases du travail sont obtenues.

Un creuset semblable (fig. 159) se compose de trois parties reliées entre elles par des ouvertures: le compartiment de fusion A, le compartiment d'affinage B et le compartiment de travail C. Les deux parties A et B sont découvertes, la partie C est couverte, et se termine par une sorte de bec — comme dans les pots à cristal — qui sort de l'ouvreau (fig. 159).

Les matières vitrifiables sont introduites en A et ce compartiment est con-

stamment rempli. La masse en fondant s'écoule peu à peu à la partie inférieure et pénètre dans le compartiment B (en *a*). En B, le verre s'affine à la surface, puis augmentant de densité se retire peu à peu vers le fond de ce compartiment, pénètre alors dans le compartiment C (en *b*) où on le puise. La quantité de verre enlevée en C est remplacée par une quantité de verre provenant de B et de A.

On a été satisfait du résultat obtenu avec ces creusets ; de leur emploi à la création du premier four à un seul creuset ou à bassin, il y avait peu à faire, on construisit donc le premier four à bassin.

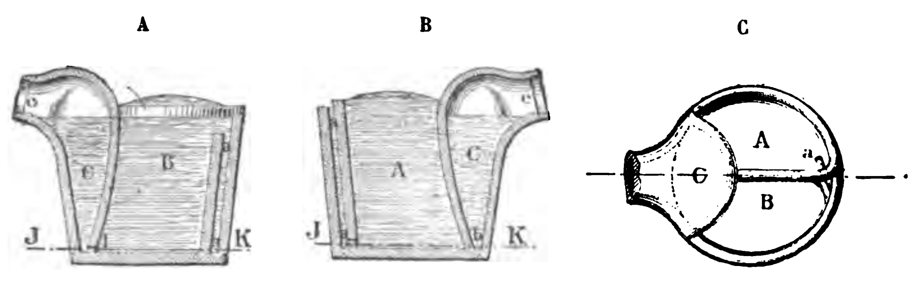


FIG. 159.

Ces fours existent à l'état de four à travail périodique, puis à l'état de four à travail continu ; on a ensuite construit le four à travail continu et à bassins multiples, c'est-à-dire à compartiment divisé pour fabriquer des verres de diverses qualités.

Il existait, postérieurement à l'invention de MM. Siemens, un système de four à chauffage direct (système Hutter) adopté aux usines métallurgiques de MM. Hutter et Cie, mais ce système a été remplacé par celui de Siemens. Toutes ces variétés de fours reposent sur le système de régénération de chaleur.

Au début, les fours à bassin ne servaient qu'à opérer une première fusion, une fusion préparatoire. Les matières ainsi vitrifiées, enlevées des fours à bassins, étaient ensuite fondues complètement et affinées dans des creusets. Ces fours consistaient en un compartiment unique, de capacité moyenne, creusé dans le milieu, en forme de baquet, voûté par-dessus, et sur ses côtés étaient groupés les régénérateurs.

Ces fours ne tardèrent pas à démontrer que par une construction spéciale, on pouvait obtenir non seulement une demi-fusion, mais un produit fini. Les premiers essais échouèrent à cause de l'impossibilité d'obtenir un bassin hermétiquement fermé.

Cependant lorsque Siemens eut triomphé de cette difficulté par l'introduction de *soupiraux*, on vit bientôt apparaître les deux variétés de fours à bassin que nous avons nommées plus haut, et qui ne diffèrent qu'en un point : c'est que dans les fours à bassin travaillant d'une manière périodique, on opère la fusion après avoir empli le bassin, et on travaille ensuite jusqu'à ce qu'il soit vide tandis que dans les fours à travail continu, on opère à la fois dans le bassin la fusion et le travail.

La construction du four à travail interrompu peut se comprendre d'après

les figures 160, 161 qui représentent la coupe en longueur et la coupe transversale; aux deux extrémités du bassin se trouvent placés, les uns contre les autres, les régénérateurs. Le gaz et l'air entrent par les canaux G' et L', et quittent le four de l'autre côté par les canaux correspondants G^2 et L^2. Sur la longueur du four se trouvent les ouvertures de travail, les ouvreaux *a'*, a^2...

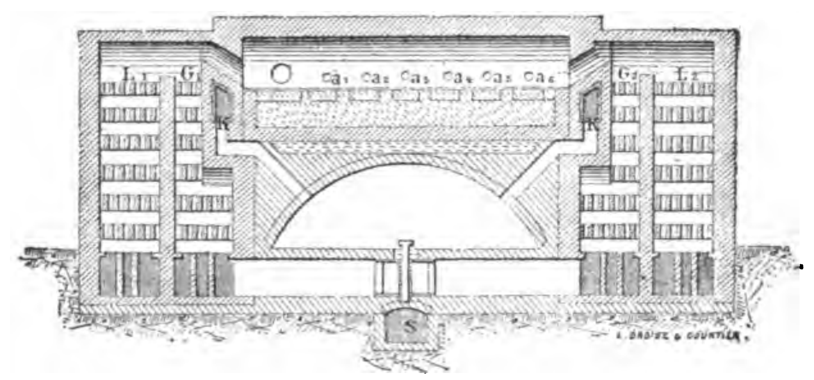


Fig. 160.

La façon d'opérer et le maniement du système régénérateur sont les mêmes que dans les fours à creusets. Siemens, de 1870 à 1873, à côté de ses bassins à travail continu, fit encore une autre modification de construction du bassin périodique (voy. fig. 161, 162), qui se distingue du bassin indiqué plus haut, en ce que ce bassin ici est beaucoup plus profond, et par conséquent n'est jamais vidé

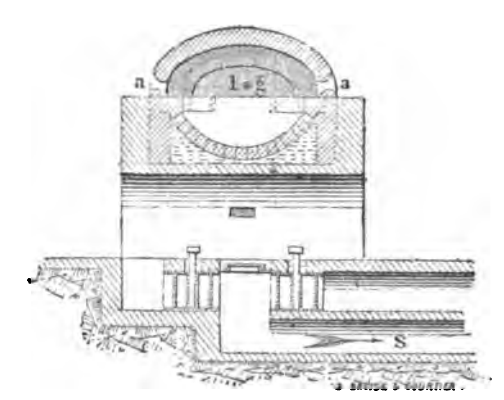


Fig. 161.

à fond; mais il a ceci de commun avec le premier, que la fusion et le travail se succèdent alternativement. Ce four se distingue de l'autre par une plus grande solidité, par une facilité de travail plus grande aussi, et par une économie notable de combustible.

Les deux variétés de bassins à travail discontinu se sont relativement peu répandues. La raison en est qu'ils ne peuvent en aucune façon soutenir la

comparaison avec le four à travail continu de Siemens, sous le rapport de la facilité de travail et des frais d'exploitation, quoique sous le rapport de la construction ils coûtent beaucoup moins cher.

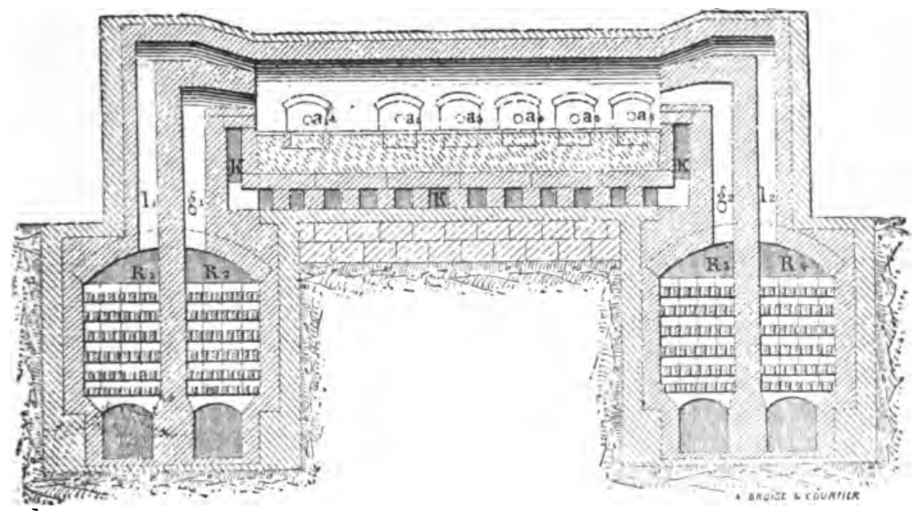


FIG. 162.

Comme il l'a fait pour son creuset à travail continu, Siemens partage son four à bassin continu, en trois divisions : compartiment de fusion ; compartiment de raffinage ; compartiment de travail. De même que dans le four décrit plus haut, Siemens entoura le fond, les murs de côté et les séparations de ventilation, de soupiraux, et trouva en cela un moyen de rendre son bassin hermétiquement fermé et solide. Le verre pénétrant dans les joints s'y fige par suite du grand refroidissement, et le verre figé forme de cette façon la plus simple et la plus

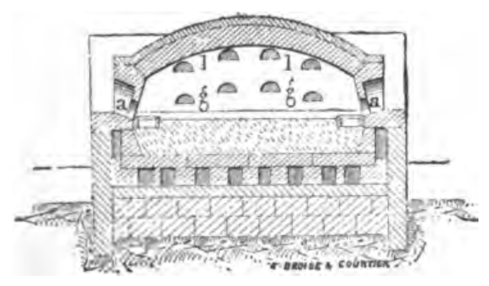


FIG. 163.

sûre fermeture contre tout autre verre qui voudrait pénétrer ensuite. Les figures 164,165,166 représentent le plan, la coupe longitudinale et la coupe transversale d'un four à bassin à travail continu, avec chauffage au gaz régénéré, tel que Siemens l'a construit dans ces dernières années, après de nombreuses modifications, et spécialement à sa propre fabrique.

A, B, C, sont les trois compartiments indiqués (fig. 164) ; des parois les

séparent l'un de l'autre et les canaux C', C^2 les mettent en communication l'un avec l'autre.

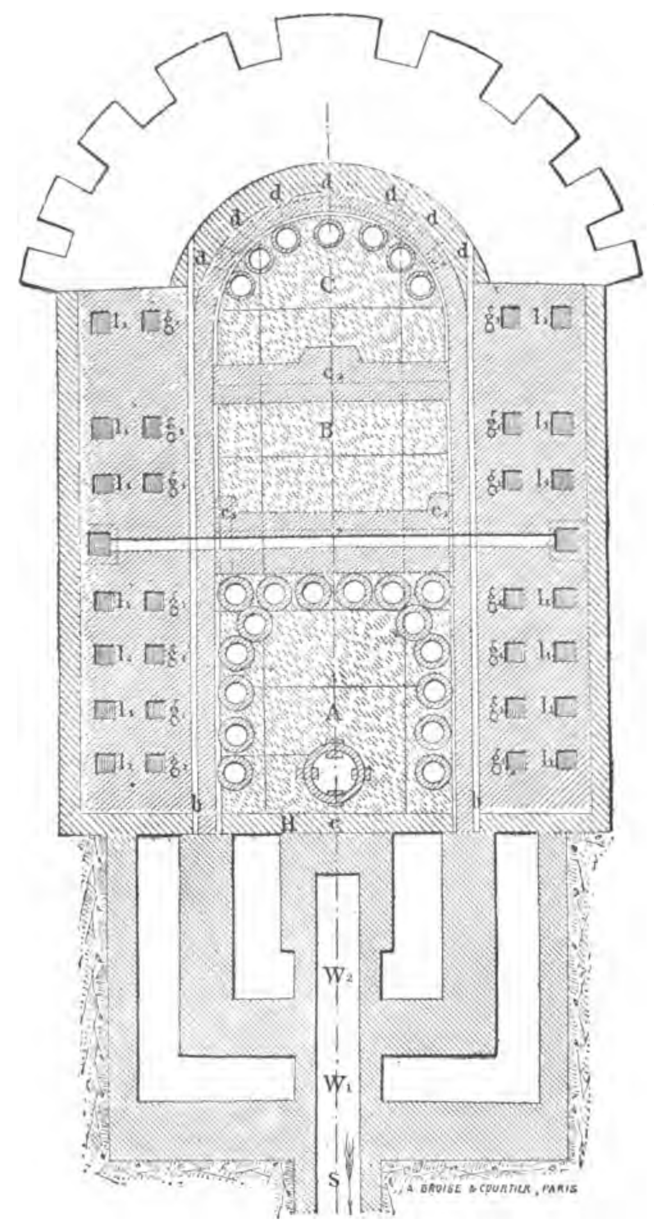


Fig. 164.

Sous cette masse du bassin proprement dit, se trouvent les quatre régénérateurs, construits en réseaux de briques. Les parties du devant de R', R^2, R^3, R^4, ne sont pas revêtues de briques, elles servent à protéger les chambres des

régénérateurs contre toute perforation. Ces quatre régénérateurs, les deux intérieurs pour le gaz, les deux extérieurs pour l'air, sont en communication,

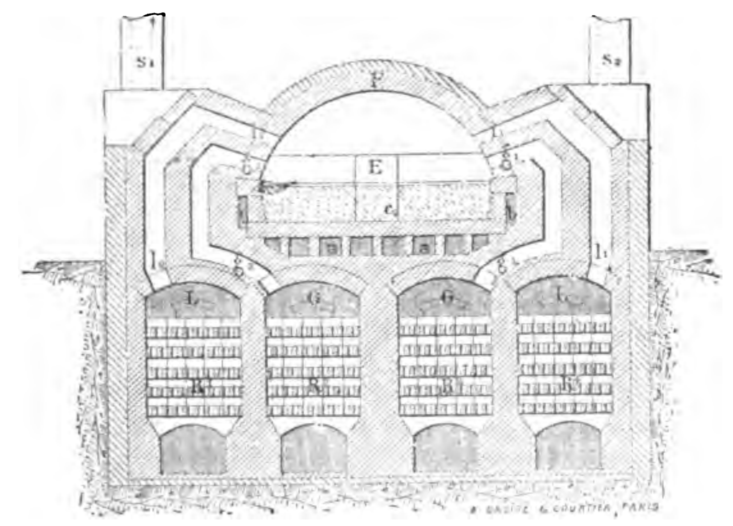


FIG 165.

par des canaux, avec les valves de renversement qui se trouvent en W^1, W^2. S est le canal commun de la cheminée d'appel.

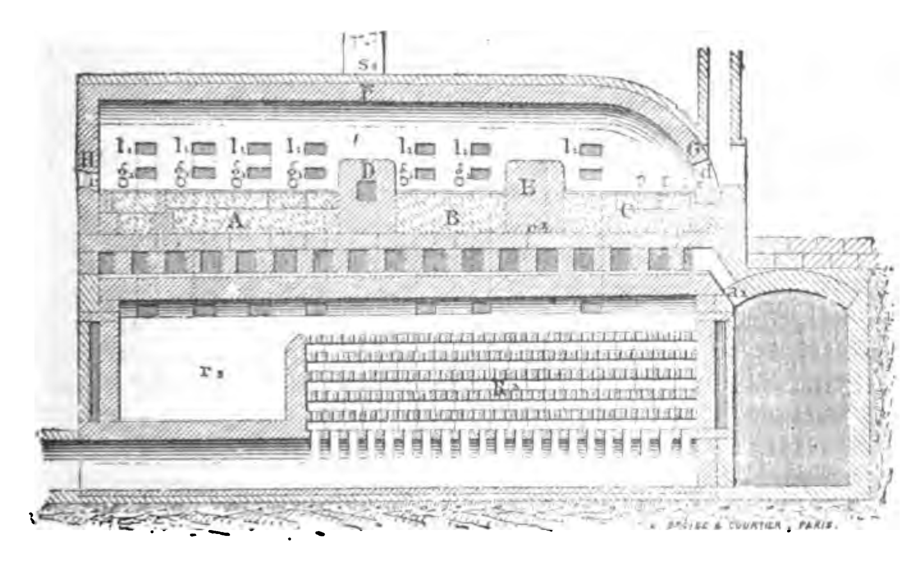


FIG. 166.

En a^1, a^2 et b^1, b^2, l'air froid entre continuellement dans les canaux à air qui entourent le fond et les côtés; cet air est aspiré par une ou plusieurs petites cheminées s^1, s^2. De même la première paroi intérieure D, qui est exposée à une

mesure plus grande, est rafraîchie par un courant d'air froid qui entre par le côté. La cavité entière du four est voûtée presque à plat et fermée à l'extrémité du compartiment de fusion par le mur vertical H.

Le gaz et l'air traversent, d'après la position des valves, les régénérateurs R^1, R^2 ou les régénérateurs R^3, R^4 et pénètrent dans le four par les regards g^1 l^1 ou g^2 l^2.

Les flammes ne traversent pas le four dans le sens de la longueur, mais dans le sens de la largeur. Les produits de la combustion quittent le four par g^2 ou g^1 l^1, et arrivent de là, par les deux régénérateurs correspondants, à la cheminée.

L'échange de la direction du tirage, par le renversement des valves, a lieu régulièrement toutes les demi-heures.

Voici ce qui se passe pour la fusion dans le four :

La composition, brute et froide, est introduite continuellement, avec des intermittences régulières, par l'ouverture de chargement C dans la partie A, qui est le compartiment de fusion.

De là le verre grossièrement fondu passe par le canal C, qui se trouve au fond, et sur la paroi de séparation D, pénètre dans le compartiment de raffinage B et arrive de là bien fondu et bien raffiné, après avoir traversé la seconde cloison ou paroi E par le canal C^2, dans le compartiment de travail C, où il est puisé continuellement par les ouvertures de travail d^1 d^2... dans les anneaux nageant dans le verre.

En outre de d^1, d^2... il y a encore de petites ouvertures f^1, f^2... pour le chauffage des cannes.

Il est facile de voir par ce plan, qu'avec ces fours à bassin, et contrairement aux autres constructions de four, on opère le chargement, la fusion, le raffinage et le travail *simultanément* dans un seul et même four.

Par suite de la propriété que possède le verre d'augmenter de poids spécifique, proportionnellement au degré d'avancement de la fusion, il devient impossible, si l'on a bien organisé les divisions des compartiments et bien suivi la méthode de travail, que la composition non fondue, ou que le verre mal fondu, puisse arriver au compartiment de travail, parce que toute partie de la composition non fondue étant plus légère spécifiquement flottera au-dessus de la partie fondue. Cette partie non fondue, quoique poussée par la pression hydrostatique dans la direction de C, ne peut donc pas arriver dans le compartiment B, encore moins dans le compartiment C, puisqu'elle est retenue par les cloisons ou parois de séparation.

Grâce au nombre et à la disposition des carneaux à gaz et à air, nombre et disposition que demandent les différentes sortes de verre, il est possible d'obtenir dans les compartiments A et B, dans lesquels a lieu la fonte et le raffinage du verre, une bien haute température, tandis que dans le compartiment C, qui est le compartiment de travail, on ne peut obtenir que juste la quantité de chaleur dont on a besoin pour le travail du verre. Le verre, dans ce compartiment, qui est rafraîchi par le dessous et par les côtés, trouve occasion de s'épaissir et de prendre la consistance nécessaire pour être travaillé.

Le génie inventif de Frédéric Siemens le poussa à ne pas s'en tenir à cette

construction. Aussi, à cette disposition primitive ont succédé depuis 1870 des séries de perfectionnements, dont voici les plus importantes :

Siemens élimina les deux cloisons intérieures, et ne plaça dans le compartiment à bassin que des couronnes (anneaux flotteurs). Le mélange était placé sur un anneau ou deux anneaux, reposant eux-mêmes sur des piliers séparés. Par suite du phénomène décrit plus haut et relatif au changement du poids spécifique d'après le degré de fusion, on obtient aussi dans ce four de beau verre, mais comme entre temps on avait besoin d'un trop grand nombre de *couronnes*, Siemens combina la construction première avec les modifications nouvelles et

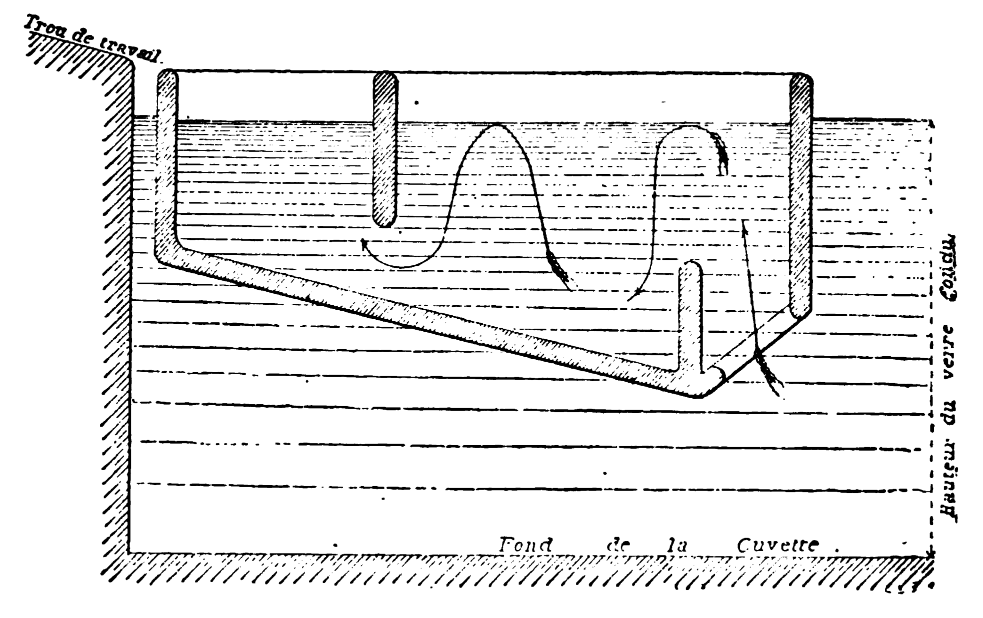


Fig. 167.

construisit un bassin, lequel n'avait qu'*une* cloison intérieure ; il unissait ainsi, en un seul compartiment, le compartiment de fusion et le compartiment de raffinage ; un nombre moindre de couronnes ou anneaux y flottait pour protéger les parois intérieures et latérales. En outre, Siemens conservait les anneaux plus grands, reposant sur des piliers, pour recevoir la composition ; car ces anneaux empêchent que les parois latérales ne soient rongées par la composition brute ou par le sel qui en résulte. La cloison intérieure était munie d'une ventilation puissante. La partie supérieure du four, ainsi que les côtés et le fond du bassin, est bâtie comme il a été dit plus haut.

Dans ces derniers temps, Siemens a réalisé d'autres simplifications de construction basées sur le principe des *nacelles* ou navettes (flotteurs d'affinage) (fig. 167, 168). Grâce à ces améliorations, Siemens a mis de côté les cloisons intérieures, les anneaux, etc., et il ne se sert plus que des nacelles ; le compartiment de fusion s'est notablement agrandi et la capacité de production s'est accrue en

proportion. Les résultats obtenus avec les nacelles ont été, sous tous les rapports, favorables et même surprenants.

C'est en 1874 que Fr. Siemens a trouvé ce qu'il appelle ses nacelles. Le brevet date de 1876.

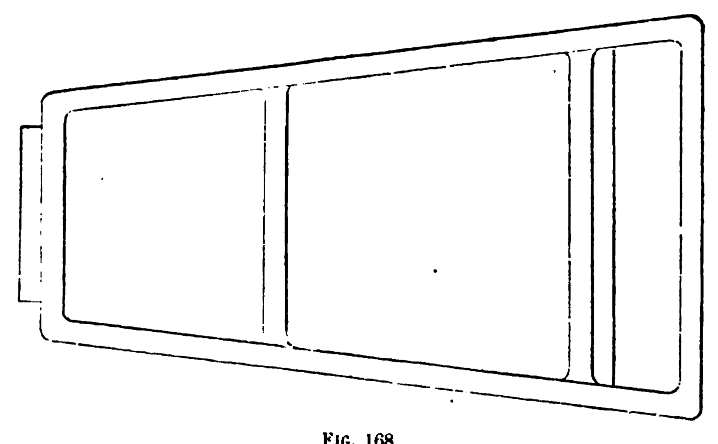


Fig. 168.

Voici la description qu'il en donne lui-même :

« Les nacelles sont des vases en argile à deux ou plusieurs parties, qui nagent sur le verre et peuvent être ronds, carrés, longs ou ovales. Les divisions résultent de cloisons intérieures, qui sont fixes ou mobiles; l'une de ces divisions se trouve en communication par une ou plusieurs ouvertures dans sa partie inférieure, avec l'autre grand vase d'argile, dans lequel la nacelle nage, de façon que le verre, par ces ouvertures, doit passer du grand compartiment dans le petit. Ce compartiment communique de nouveau avec le second, et celui-ci communique avec les autres divisions par des ouvertures, dans les parois intérieures qui peuvent se trouver, selon les rapports spéciaux, au fond, au milieu ou en haut. La dernière division est tournée vers l'ouverture de travail du four. Dans la construction régulière de la nacelle, il est facile de comprendre que lorsque le verrier prend du verre à la dernière division, le verre de la division précédente, en vertu de la pression hydrostatique, doit pénétrer et remplacer ce qu'on a pris. De même une quantité correspondante de verre doit pénétrer par en bas dans la première division, en venant de la cuve. »

C'est sur l'emploi de ces nacelles que Siemens a basé de nombreux procédés brevetés, pour fondre et travailler le verre dans des creusets, dans des fours ordinaires et autres fours à bassin.

On peut changer de temps en temps, lorsque besoin est, la couleur du verre dans un bassin, sans interrompre le travail; il n'est nécessaire pour cela que de suspendre les enfournements pendant six heures environ; puis on renfourne de la nouvelle composition, à intervalles réguliers, suivant la capacité de production du four. Le changement de couleur se fait en trois ou quatre jours et on n'est guère obligé « de tirer à l'eau » que quelques centaines de kilogrammes de verre impropres à la fabrication.

Dans les verreries où on a besoin de produire des qualités ou des couleurs de verres différentes en quantités insuffisantes pour motiver la construction d'un four spécial pour chaque sorte de verre, le bassin peut être divisé en deux ou quatre compartiments, ou bien on peut placer dans un four plusieurs pots de grandes dimensions renfermant chacun le nombre de flotteurs d'affinage nécessaire. En enfouissant ces pots dans du sable, on leur donne une résistance beaucoup plus considérable de telle sorte qu'on peut les faire plus grands que d'ordinaire, et faire ainsi plusieurs petits bassins que l'on peut renouveler aisément dans le four quand cela est nécessaire.

De cette façon la fusion continue du verre peut être appliquée pour de petites comme pour de grandes productions, et ces disposition intéressent par conséquent tous les verriers.

Voici quels sont les principaux avantages dus à l'emploi de ces fours à fusion continue :

1° La puissance de production est augmentée, attendu que le four marche sans interruption à la température d'affinage, tandis que dans les fours ordinaires on perd plus d'un tiers du temps par le tise froid, le travail et le réchauffage des fours.

2° Économie de main-d'œuvre, attendu que le nombre des hommes employés pendant la fusion est diminué de moitié.

3° Durée plus grande des fours à cause de la constance de la température.

4° Régularité du travail.

5° Commodité pour les verriers et avantage pour les patrons, attendu que, par suite de la continuité de l'opération, le verre est toujours prêt à être travaillé et le niveau de cueillage est toujours le même.

6° Pour la fabrication du verre à vitres, on peut disposer les ouvreaux de façon que les *chefs de place* et les *grands garçons* ne se gênent pas mutuellement.

La durée plus grande du bassin n'est pas due seulement à la constance de la température, mais aussi à cette circonstance que la composition est renfournée en quantités telles chaque fois qu'elle ne vient toucher ni les côtés ni le fond du bassin, qui ne sont plus alors refroidis subitement ou rongés par les fondants, si l'on a soin d'enfourner dans un flotteur rond.

Il y a des fours en activité qui ont depuis quatre jusqu'à vingt ouvreaux, et ces derniers ne consomment que 1000 kilogrammes de lignite par 1000 kilogrammes de bouteilles produites, ce qui, en tenant compte du pouvoir calorifique de ce combustible, équivaut à une consommation remarquablement faible de 500 kilogrammes de houille pour 1000 kilogrammes de bouteilles, y compris le recuit. J'en ai vu tout dernièrement l'application à la nouvelle verrerie de MM. Siemens à Elbogen près Carlsbad (Bohême), et j'ai été très satisfait de ce que j'ai remarqué pendant ma visite à cette usine.

Dans l'atlas de cet ouvrage, l'examen de quelques planches relatives aux fours à bassin (pl. XIX, XX, XXI) fera assister le lecteur aux diverses modifications apportées à ces fours depuis leur origine.

La planche XXI est la troisième modification apportée par M. Fréd. Siemens afin de fabriquer dans le même four des verres de qualités et de colorations diffé-

rentes. Comme on peut le voir, d'après cette planche, le four se trouve dans le milieu de la halle avec les places de travail en A et A. Vis-à-vis d'elles, et en K et K, se trouvent deux séries de fours à refroidissement continu, avec de grands espaces proportionnés, qui se trouvent derrière et dans lesquels d'une part les wagonnets venant du four sont placés et vidés après leur refroidissement, d'autre part aussi les bouteilles enlevées aux wagonnets sont placées, triées, assorties, visitées et chargées. G et G sont les endroits destinés à la préparation des mélanges vitrifiables.

La nouvelle construction de ce four, brevetée par M. Fr. Siemens, a beaucoup de ressemblance avec les fours à cuve ordinaires, à travail non continu, elle se rapproche même sous certains rapports de la construction des fours à pots, puisque malgré la forme extérieure très variée, ronde, carrée, ovale, etc., on peut y travailler simultanément les variétés de verre les plus diverses; mais, cependant, tandis que dans ceux-là on fond d'abord et on travaille ensuite, dans le four qui nous occupe, les diverses espèces de verre sont simultanément fondues et travaillées. Par la coupe III et IV, par la coupe V et VI et par la coupe I, II il est facile de voir que le soubassement du four est celui d'un four régénérateur de Siemens ordinaire.

Sur ce soubassement s'élève le four à cuve proprement dit qui, à première vue, ne se distingue pas essentiellement des constructions connues jusqu'ici; cependant on ne tarde pas à remarquer que la cuve est partagée par des ponts refroidis, ou demi-murs de séparation, disposés en croix en 4 divisions, dont on peut augmenter ou diminuer le nombre selon les besoins.

M. Siemens ne regarde pas comme essentiellement nouvelle l'idée de pouvoir fondre et travailler simultanément plusieurs sortes de verre dans ce four, « attendu que lui-même, depuis bien longtemps déjà, a employé dans ce but des cloisons, pour fondre deux sortes de verre dans la cuve; mais, comme l'ont démontré les expériences faites à la verrerie de M. F. Siemens à Dresde, on n'a pas obtenu de résultat satisfaisant, car les avantages que procuraient les cloisons intérieures étaient perdus à cause des nombreuses réparations qu'elles nécessitaient. Il n'était donc pas possible de constater un résultat réellement pratique. Pendant des années, des observations continues et de fréquentes expérimentations parvinrent à donner la raison de cette usure rapide et disproportionnée. Ces expériences ont été faites aux dépens de M. Siemens, dans ses usines, et il a eu enfin le mérite de pouvoir donner une durée plus grande aux parois intérieures par l'invention des ponts refroidis. M. Siemens trouva qu'une des principales raisons de l'usure, même avec les ponts refroidis, c'était que le niveau du verre des deux côtés de la paroi n'était pas toujours également élevé. Par suite de la pression inégale qui en résultait, par la vidange d'un des côtés de cette paroi, sur l'un ou l'autre côté, et de l'action par là même plus intense alors de la flamme, les parois de séparation sont proportionnellement plus vite détruites. Les ponts inventés par Siemens procurent désormais une circulation libre du verre au fond de la cuve d'une partie à l'autre, de sorte que, par suite de la pression hydrostatique, le verre des deux côtés de la paroi de séparation, doit toujours s'élever à la même hauteur, et qu'il faut

seulement faire attention, en ajoutant à temps des matières vitrifiables, de ne pas laisser tomber bas la surface luisante du verre. »

Comme Siemens le dit lui-même, avec l'emploi des ponts il pourrait arriver que par une grossière négligence dans l'enfournement des matières vitrifiables, le verre passât d'une division dans l'autre, par-dessus. Mais comme le verre, au fond de la cuve, est visqueux, par suite du refroidissement qui s'y opère, il arrive que même quand un débordement de verre de cette sorte a lieu, il ne peut se faire de mélange intime des diverses espèces de verre. Comme la cuve correspondant au maniement de la nacelle est relativement très profonde, il devient absolument impossible qu'un mélange de cette sorte puisse entrer dans la nacelle et arriver à être raffiné et travaillé. C'est d'autant moins le cas, que, par l'addition de mélange vitrifiable, le retour du verre se produit dans la partie qui se trouve en retard, en arrière. Voilà ce qu'ont démontré les observations et les expériences sur les nouveaux fours.

La construction spéciale de ce four est facile à voir d'après la planche XXI. Les régénérateurs R qui forment le soubassement, entre lesquels se trouve la voûte d'entrée T, sont en communication à leurs extrémités supérieures avec les canaux latéraux S, au moyen d'*s*. C'est par les canaux *gg*, *ll* que le gaz et l'air arrivent de SS vers le four. La manière de conduire le travail et de faire agir les régénérateurs, etc., etc., est trop connue pour qu'il soit nécessaire de la décrire ici.

Comme l'indique le dessin, la forme ronde est celle qu'on a choisie de préférence pour la chambre du four.

Les ponts ZZ, décrits plus haut et qui tirent leur nom de leurs fonctions, forment une croix à angles droits, de sorte qu'il y a quatre divisions pour quatre sortes différentes de verre. Les refroidisseurs, v, v^1, v^2, v^3, de ces quatre ponts se réunissent dans la cheminée générale de ventilation, qui est construite à travers la voûte du four et entretient dans les quatre ponts simultanément la ventilation nécessaire par l'aspiration d'air froid. La partie inférieure de cette fosse est partagée par un éventail en fer d'environ 1 mètre de haut, de façon que la ventilation de chaque pont en particulier, jusque sur le niveau du verre, reste séparée des autres, et qu'elle ne parte que de là pour aller plus loin. Cette séparation est nécessaire, d'une part, pour qu'il ne se produise pas de perturbations dans la ventilation des ponts en particulier, d'autre part, pour que si un pont venait à être défectueux, et que le verre entrât en refroidissement, la ventilation continuât néanmoins à s'opérer régulièrement dans les autres ponts. C'est cette ventilation vive qui constitue, on le sait, le meilleur moyen d'obtenir une force de résistance plus grande contre l'action de la chaleur et du verre liquide. Le fond de la cuve, ainsi que les parois de côté, en tant qu'elles touchent à une autre maçonnerie entourée de refroidissements à air *ee*, débouchent dans les quatre petites cheminées *f*. Le refroidissement du fond se fait d'une facon analogue à celui des parois ; il est également divisé en quatre parties et ventilé par la cheminée correspondante, de sorte que dans le cas où l'une des quatre divisions serait mise en défaut, les trois autres ne participeraient pas à l'accident, et fonctionneraient après réparation. Cette construction de refroidissements séparés, correspondant aux parties distinctes du four, doit être con-

sidérée comme parfaitement nouvelle. M. Siemens a réalisé là un perfectionnement important.

Pour en revenir aux ponts, il faut ajouter que les canaux de ventilation *v* sont fermés par le bas à l'aide de grandes pierres de forme spéciale, qui se lèvent et se baissent sur un certain nombre de petits piliers entre lesquels se trouvent les divers grands passages, dont il a été parlé plus haut pour la libre circulation du verre d'une division dans une autre. Comme on peut le voir sur le plan, coupe I, II, il y a pour chaque division du four sept ouvertures de travail, soit en tout vingt-huit.

Devant chaque ouverture de travail nage, dans la masse de verre demi-fondue, une nacelle ou flotteur, à l'aide duquel le travail continu est possible.

Entre les deux groupes de canaux *g* et *l*, qui se trouvent vis-à-vis l'un de l'autre, il y a de chaque côté un espace libre G et G, qui communique avec les cuves à mélanges vitrifiables. Ici se trouvent les ouvertures de chargement KK, répondant aux quatre divisions du four. Par cette disposition, la place de chargement est complètement séparée de la place de travail, de sorte que le travail du verrier n'est en aucune façon interrompu par le chargement périodique du mélange, ce qui est un avantage qu'on ne saurait trop apprécier dans un four à travail continu. Pour conserver cet avantage, il paraît nécessaire, en *pratique*, de ne pas faire plus de quatre divisions, parce que si on en faisait plus, l'espace qui sépare les places de chargement des places de travail finirait par disparaître et il faudrait charger par les ouvertures de travail directement, ce qui entraînerait une foule d'ennuis, de retards, et d'embarras insupportables.

Les vingt-huit places de travail sont occupées chacune par un maître et par un gamin ; on y travaille continuellement en deux mues de douze heures, ce qui représente la valeur de vingt heures de travail réel par jour. Or, comme par trou de travail et par heure on peut faire en moyenne 50 bouteilles, le travail de la journée peut se représenter par $50 \times 20 \times 28 = 28\,000$ bouteilles ; si on en retire en chiffre rond 3000 pour la casse, etc., etc., il reste par jour 25 000 bouteilles, ce qui fait par mois environ 3/4 million. Ce chiffre de fabrication n'a jamais été obtenu jusqu'à présent en verrerie, et il est remarquable sous tous rapports. Comme matériel de combustible on se sert de charbon de terre de Bohême, de moyenne qualité, que l'on gazéifie dans un grand gazogène à double inclinaison et un grillage plan.

Le gaz nécessaire pour le chauffage des fours à recuire est fabriqué dans deux petits gazogènes avec grillage plan. La consommation en charbon s'élève par jour, pour le four à fusion, de 15 000 à 18 000 kilogrammes, et pour les fours à refroidir à environ 2000 kilogrammes.

FOURS A BASSIN (SYSTÈME L. VIDEAU)

M. L. Videau, ingénieur-directeur de la verrerie de la Compagnie de Blanzy (Saône-et-Loire), a imaginé un système de four à bassin, dans lequel l'air chaud est amené en tête du four par des conduits venant d'un récupérateur

Radot-Lencauchez. Le sens de la circulation des flammes est invariable, sans renversement ni alternances; le réglage du four s'obtient simplement par le déplacement de registres.

Il existe six dispositions différentes de fours de ce système répondant à divers besoins de l'industrie du verre. Trois de ces dispositions doivent être mentionnées

1° Le four à travail intermittent à dix ouvreaux ;

2° Le four à travail intermittent à vingt ou vingt-quatre ouvreaux ;

3° Le four mixte (travail intermittent ou travail continu) à deux compartiments de dix à vingt ouvreaux chacun, soit vingt à quarante places pour l'ensemble du four.

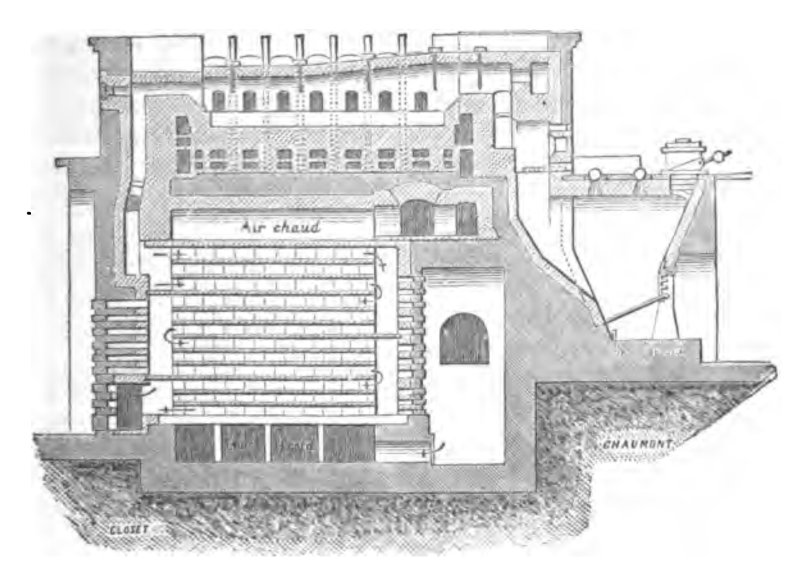


FIG. 169.

Le four à vingt ouvreaux à travail intermittent, à bassin unique, rectangulaire, est recouvert d'une couronne au bas de laquelle sont percés les dix ouvreaux de travail. A l'une des extrémités de la couronne arrivent les gaz combustibles et l'air chaud ; à l'autre, se trouve le puits vertical de départ des flammes après leur passage dans le four.

Les gaz combustibles sont produits par deux gazogènes de formes et dimensions ordinaires, à barreaux légèrement inclinés. Ces gazogènes sont généralement placés dans la halle de fusion et de travail. Ces fours ont en moyenne une durée de réveillée de un an.

Un four de ce système et de ces dimensions fut construit à Blanzy en 1872, et c'est après une expérience de quatre années que fut construit le four à vingt ouvreaux dont le principe est le même, dont les dispositions seules sont un peu différentes.

M. Videau obtient avec ces fours de grandes dimensions, de bons résultats au point de vue de l'égalité de la température entre les divers points d'un bassin

ayant 6 mètres de long sur 6 mètres de large. Cette distribution uniforme est obtenue par l'emploi de deux voûtes concentriques; sous la première arrivent les gaz; sous la seconde débouche l'air chaud. La forme du bassin est celle d'un trapèze à parois courbes. Dans ce four comme dans le premier, l'arrivée des flammes se fait par l'une des extrémités, le départ par l'autre ; le sens de de la circulation des produits de la combustion est invariable.

Le four mixte à deux compartiments peut fonctionner comme four intermittent à deux compartiments, donnant chacun une nuance différente de verre : et comme four continu, un verre de teinte uniforme, l'un des compartiments servant alors de four de fusion, l'autre de bassin de travail.

L'appareil affecte en plan, la forme d'un fuseau, c'est-à-dire que les parois du bassin sont curvilignes. A chacune des deux extrémités est un brûleur dans lequel s'opère le mélange des gaz et de l'air chaud qui sont amenés par plusieurs conduits venant pour le gaz, de gazogènes placés à chaque extrémité du four; pour l'air chaud, d'un récupérateur unique situé sous le bassin au milieu du four; aux deux extrémités du barrage se trouvent deux cheminées ou puits de flammes séparés, ils se réunissent en contre-bas du bassin et conduisent les gaz brûlés au récupérateur après avoir agi dans le four.

On voit que, dans cette disposition, la flamme circule dans chaque compartiment allant de l'extrémité vers le centre du four; là elle se réunit au courant de gaz chauds venant en sens inverse, de l'autre extrémité du bassin; le tout s'échappe par les deux puits de flammes.

Entre ces deux puits, le barrage se rétrécit de façon à n'avoir plus que l'épaisseur des parois des deux compartiments augmentée de la largeur d'un canal rafraîchisseur d'air, indispensable pour assurer la conservation de ce barrage. En outre, dans cette partie, le seuil s'abaisse un peu au-dessous du niveau du bord du bassin, de façon à former déversoir entre les deux compartiments.

Grâce à cette disposition spéciale, ce four peut fonctionner à volonté et immédiatement, sans aucune modification à apporter à son agencement, soit en four intermittent à deux compartiments de verres de nuances différentes, soit en four continu.

Si l'on veut produire deux nuances, il suffit de maintenir le niveau du verre plus bas que celui du seuil du déversoir, les deux compartiments fonctionnent alors indépendamment l'un de l'autre et chacun à la façon d'un four ordinaire.

Si l'appareil travaillant ainsi en deux nuances, on veut le faire fonctionner en four continu, il suffit de renfourner dans le compartiment que l'on réserve pour la fonte, jusqu'à ce que le niveau du verre s'élevant au-dessus de celui du seuil du déversoir, le verre passe de l'un des compartiments dans l'autre.

Si, à un moment quelconque, on veut faire l'inverse, et que, l'appareil travaillant en four continu, on veuille revenir au travail intermittent en deux nuances, on n'a qu'à épuiser par le travail le compartiment dont on veut changer la nuance et faire fonctionner l'appareil comme four intermittent à deux compartiments; la seule précaution à prendre, et elle est facile à observer, c'est de maintenir le niveau du verre à la hauteur convenable.

Ce four, suivant que chaque compartiment est à dix ou à vingt ouvreaux, peut

donner lieu à une production, soit en une, soit en deux nuances, d'un four à vingt ou quarante places.

Dans ces fours, le refroidissement de toutes les parties est très efficacement réalisé dans les conduits à deux étages, indiqués par M. Videau.

Des fours à dix ouvreaux ont été installés à Blanzy, à la verrerie de la villa d'Aï près Épernay (fabrication de bouteilles de champagne), aux verreries d'Arques (Pas-de-Calais), de Frais Marais, de Masnières (Nord).

Dans les explications données ci-dessus au sujet de ces divers fours nous n'avons point fait de citations de dépenses de combustibles par rapport aux quantités de verre obtenues. Cela pour deux motifs. Un vice de construction dans un four peut modifier complètement les résultats obtenus sans que pour cela le système de four soit condamnable. La manière dont un four est conduit peut aussi influer sur sa production et sur sa consommation. L'emploi de telles ou telle qualité de houille est une cause d'interprétation souvent erronée dans les résultats obtenus, résultats qui sont ainsi très rarement comparatifs.

Il appartient aux fabricants d'étudier chaque système de four, pour les usages auxquels ils destinent ces fours, et ce n'est qu'après des mois, souvent même des années, qu'on peut être fixé sur la valeur d'un système d'appareil; c'est pourquoi nous avons été très sobres d'appréciations sur les différents systèmes exposés dans ce chapitre.

BARRAGE A FLOTTEUR POUR FOURS DE VERRE A FUSION ET TRAVAIL CONTINUS

Sauf de rares exceptions, les fours à fusion et à travail continus sont divisés en plusieurs compartiments par des murs appelés *barrages*, qui s'élèvent au-dessus du niveau du verre et sont percés d'une ou plusieurs ouvertures (de dimensions variables) pour faire passer le liquide du compartiment de fusion dans le compartiment de travail.

Dans l'épaisseur des barrages passent, par-dessus, et de chaque côté des ouvertures, des courants d'air froid qui doivent être très énergiques pour conserver les briques le plus longtemps possible et qui aboutissent à des cheminées de fort tirage.

Malgré les précautions prises, les barrages n'ont pas une durée illimitée et entraînent, lorsqu'ils périssent, l'arrêt du four. Les ouvertures réservées au passage du verre ne peuvent être refroidies autant qu'il le faudrait pour la conservation du barrage, sous peine d'obstruer le passage par la solidification du verre. Si le verre s'épaissit au point de ne plus circuler, il faut arrêter la ventilation partiellement ou tout à fait de manière à ramollir et à liquéfier la masse vitreuse. Cette opération se fait au détriment des briques qui recouvrent les trous de passage; les parois se rongent très rapidement, et le verre venant pénétrer dans les conduits, on est tenu d'arrêter le four pour le réparer

M. Duchet s'est proposé de remédier aux inconvénients signalés en construisant le barrage comme suit : la communication entre le bassin de fusion et le compartiment de travail consiste en une sorte de couloir rectangulaire dont les parois sont des murs creux constamment refroidis par la ventilation

Contre les bords de ce couloir et du côté du compartiment de fusion, une sorte de croix en terre très réfractaire plonge sur les deux tiers de son épaisseur dans la masse vitreuse et empêche les impuretés de passer dans le bassin de travail. C'est un véritable flotteur qui suit le niveau du bain de fusion et qui d'une part en raison de sa forme, de l'autre en vertu du courant produit par l'extraction du verre fin, forme à la surface de la masse liquide un barrage hermétique. Lorsque cette partie mobile est usée, il suffit d'enlever ce qui en reste et d'y substituer une nouvelle pièce; ce remplacement n'apporte aucun trouble dans le travail.

FOUR QUENNEC. — FOUR A FUSION ET TRAVAIL CONTINUS, BRULANT LE CHARBON A GRILLE VIVE

M. l'ingénieur Quennec a construit, à sa verrerie de Semsales, canton de Fribourg (Suisse), un four à fusion et travail continus, brûlant le charbon à grille vive; ce four est en activité depuis près d'un an et l'inventeur prétend en retirer les avantages suivants :

1° Suppression des régénérateurs ou récupérateurs de chaleur, d'un établissement et d'un entretien très coûteux, indispensables pour la marche des fours à bassin en usage en ce moment.

2° Construction possible et facile du four sur les fondations des anciens fours à creusets.

3° Prix de construction très peu élevé. Le four, en activité en ce moment, est à quatre ouvertures, soit à douze places de travail où prennent place trois brigades se relevant de huit heures en huit heures. Ce four rend environ 6000 bouteilles en vingt-quatre heures et n'a coûté que 10 000 francs, y compris les deux arches à fritter les compositions.

4° Réparations de très peu d'importance à l'extinction du four.

5° Conduite du four des plus simples et sans arrêts d'aucune sorte. Le four dans lequel on travaille en ce moment fonctionne depuis six mois avec une très grande régularité dans la production du verre qui est constamment fin.

6° La haute température du four permet une réduction très notable des fondants.

7° Utilisation des chaleurs perdues pour le *frittage des compositions*.

8° Point de grande cheminée, les flammes s'échappant librement dans la halle par de petites cheminées d'environ 1 mètre de hauteur.

9° Consommation très réduite de charbon; avec un mélange de charbon gras et de lignite très schisteux à 30 pour 100 de cendres, on emploie, suivant les qualités, environ de 600 grammes à 1 kilogramme de combustible pour 1 kilogramme de verre fabriqué.

Le four consiste en :

2 grilles A (fig. 171) lançant directement leurs gaz dans le four B, après leur mélange avec l'air sortant par les diverses ouvertures C, air qui a été chauffé à une très haute température par son passage dans des canaux ménagés le long des parois des foyers et du four.

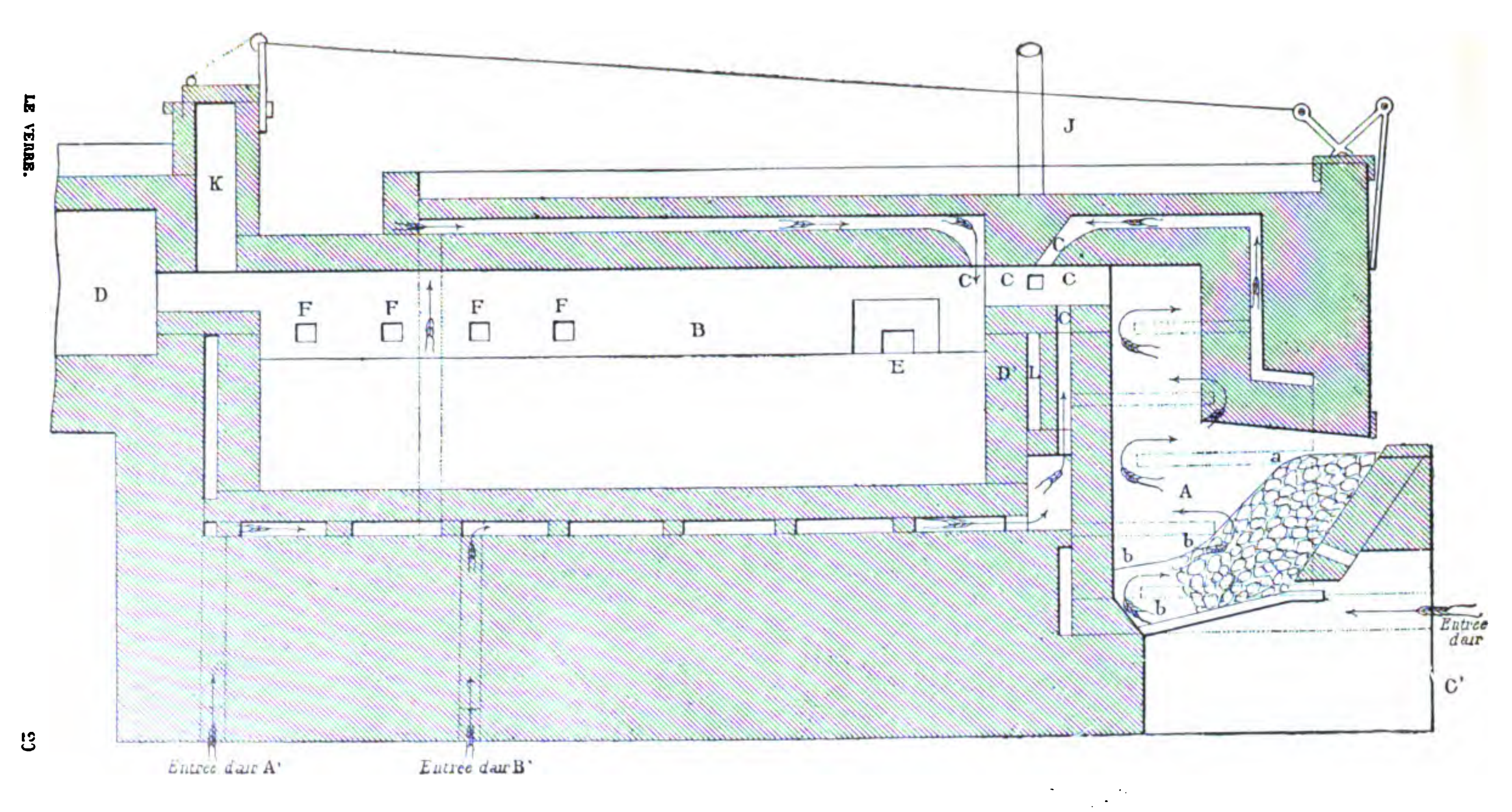


Fig. 170. — Coupe suivant A,B,.

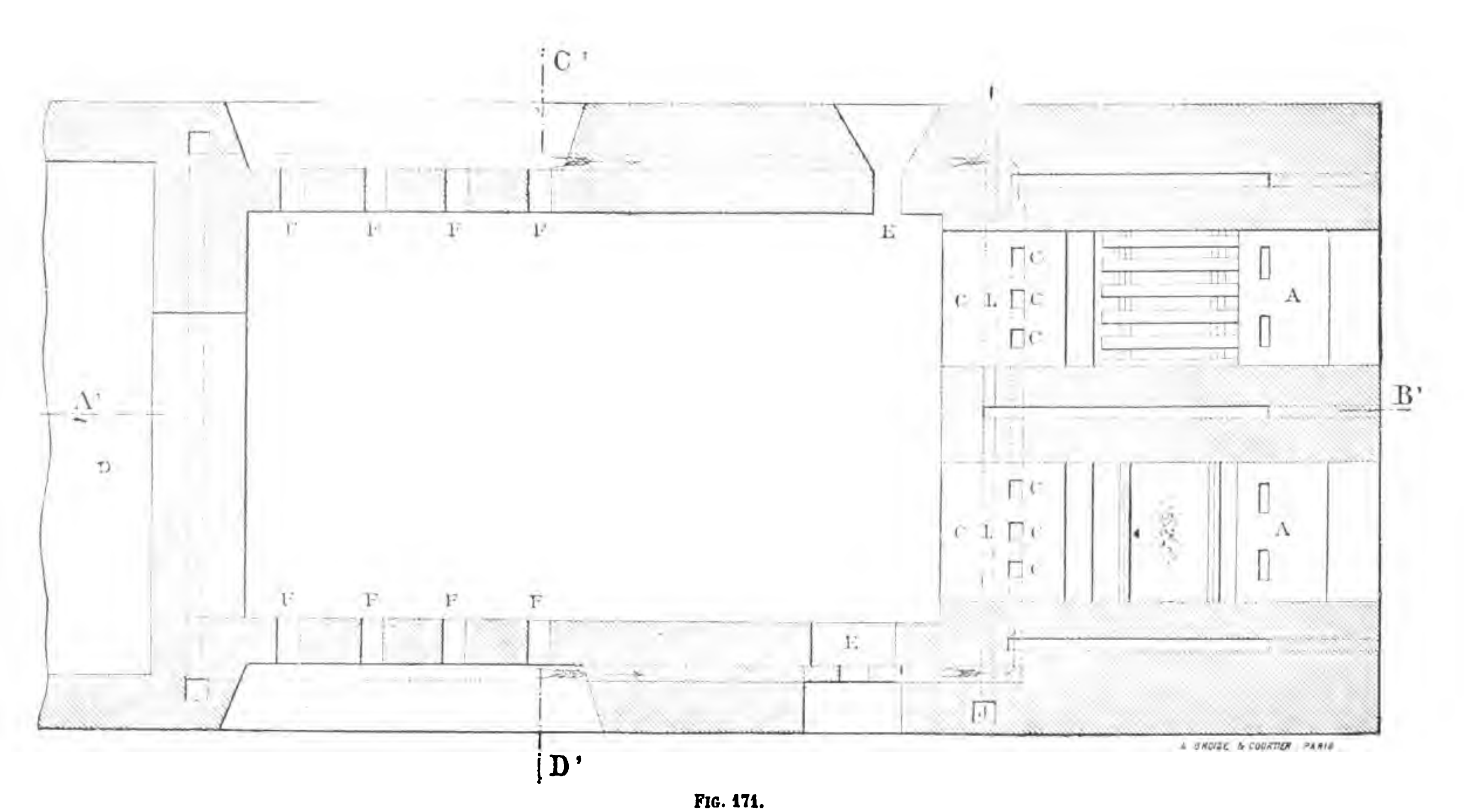


Fig. 171.

A, foyers; B, bassin; C, trous d'arrivée d'air chaud; D, arches à fritter; E, trous de renfournement des compositions; F, ouvreau de travail; G, pot flotteur; H, entrée du verre dans le pot flotteur; I, entrée de l'air rafraîchissant l'autel; J, cheminée activant le courant d'air rafraîchissant l'autel; cheminée réglant la pression du gaz dans le four; L, canal d'air rafraîchissant l'autel.

Les flammes, après avoir parcouru le four B, s'échappent par la cheminée D

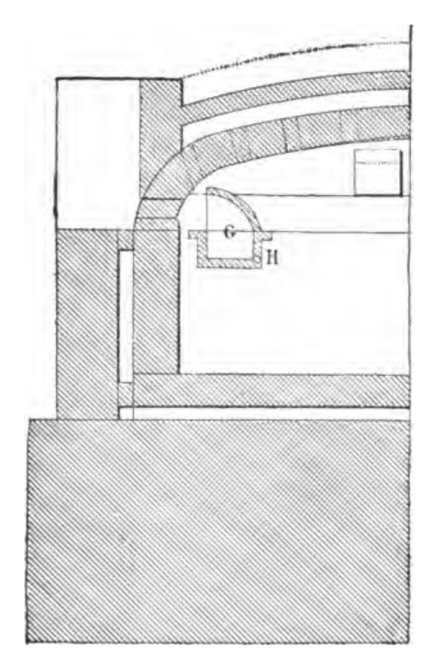


FIG. 172. — Coupe suivant C, D,.

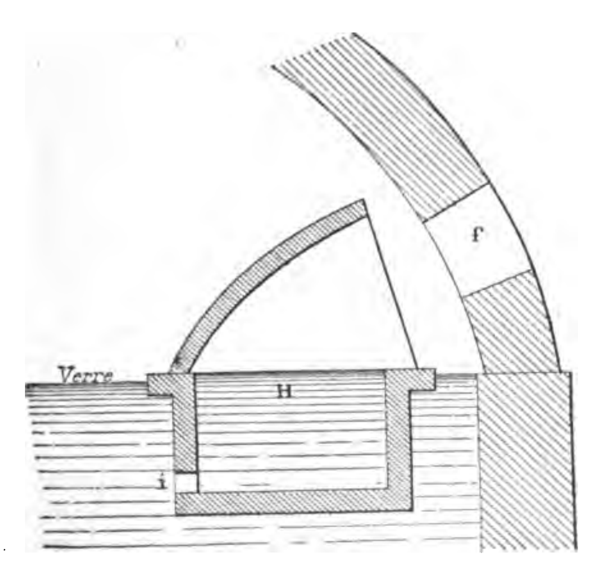


FIG. 173

ou peuvent être dirigées dans divers appareils pour les utiliser : arches à fritter, par exemple, comme c'est le cas à la verrerie de Semsales.

Quant aux matières vitrifiables, elles sont renfournées par les trous E et puisées à l'état de verre fin aux ouvreaux *f* dans des pots flotteurs H percés d'un trou *i* (fig. 173) prenant le verre dans la couche de verre du bassin.

Pour limiter la surface de fusionet empêcher la compositon d'entourer les flotteurs, on emploie des ronds ou cuves qui nagent à la surface du verre (fig. 175) ;

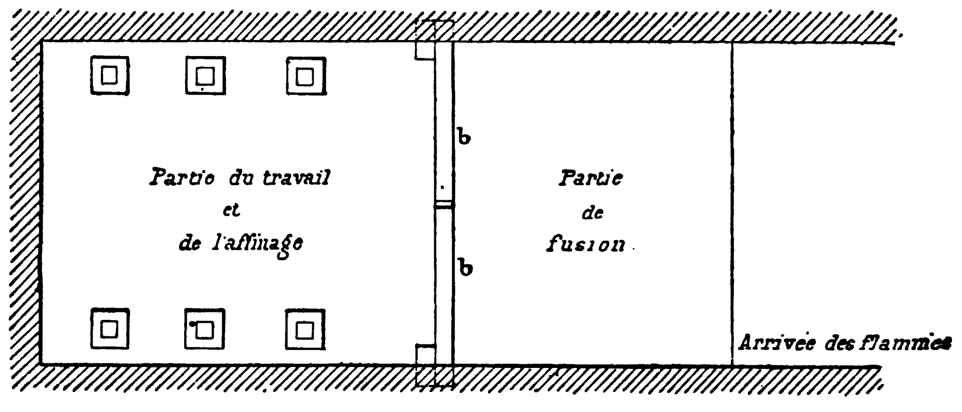


FIG. 174.

puis deux pièces flottantes en terre *bb'*, venant se butter contre des arrêts ménagés le long des parois du bassin. Ces parois ont une épaisseur telle qu'elles plongent dans la cuve jusqu'à une profondeur qui correspond au verre fondu affiné; ce qui surnage à la surface du bain est donc arrêté par ce barrage. Cette disposition n'est, du reste, pas particulière au four Quennec.

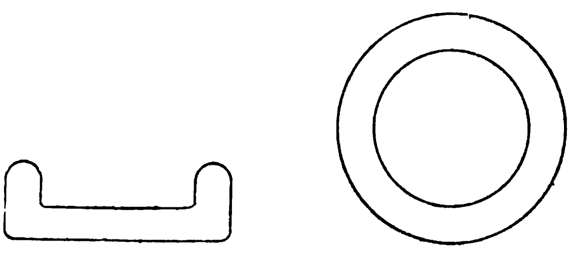


FIG. 175.

Dans ce four, je vois un avantage sérieux dans l'économie et la simplicité relative de sa construction.

J'admets que l'on obtienne dans le bassin de ce four du verre fin pour les bouteilles; autre chose est d'obtenir du verre à vitres fin, et pour ce dernier emploi j'attends que l'usage ait prononcé avant de porter un jugement.

La consommation de charbon me paraît faible pour un kilogramme de verre fondu et affiné, cela avec un four privé de récupérateurs. L'absence d'un tirage énergique ne me paraît pas une amélioration, les produits de la combustion étant envoyés dans la halle de fusion et de travail.

La partie la plus délicate au point de vue de la solidité de la construction ou plutôt de la rapidité d'usure est la paroi du bassin auprès de l'autel en CC et E.

Avec ces gazogènes (1), qui sont plutôt des foyers, je crains une combustion accélérée, irrégulière et production d'acide carbonique en grande quantité.

Pour me résumer, ce four se recommande par la simplicité de sa construction, son prix modique d'établissement; l'usage paraît avoir consacré ce four pour la fabrication des bouteilles, reste à connaître le résultat de la fabrication pour le verre à vitres.

On a breveté en Allemagne un système, dit des *courants opposés*, pour obtenir de hautes températures et une égale répartition de chaleur dans la chambre de chauffe.

Les deux planches XXV, XXVI viennent compléter la description que nous en donnons ici.

Ce système, dû à M. Klattenhoff, est représenté sous la forme la plus élémentaire de son application par la figure 1, pl. XXV, et consiste essentiellement en ce que *dans la chambre de chauffe F d'un four on introduit à la fois de deux côtés opposés le gaz et l'air, par exemple l'un en* a, *l'autre en* b, *et on évacue les produits de la combustion par les mêmes côtés en* c, *de telle façon que les orifices d'introduction se trouvent dans le voisinage de ceux d'évacuation.*

Il se forme par suite, à l'intérieur de la chambre de chauffe, des courants qui prennent à peu près la direction des flèches, et l'impulsion de l'entrée des gaz empêche qu'une évacuation directe de gaz non brûlés se produise de *a* par l'ouverture voisine *c*.

L'opposition des courants détermine un mélange très avantageux de gaz et d'air, d'où il résulte que la combustion est complète, la température très intense et la répartition de la chaleur régulière, même dans des fours d'une notable longueur.

On peut, en ramifiant les canaux, installer plus de deux orifices *a* et un nombre correspondant d'orifices *b* et *c*; pour arriver à une meilleure répartition de la flamme, *a* et *b* peuvent être réunis en un brûleur unique en dehors de la chambre de chauffe proprement dite. Au lieu d'être disposés l'un au-dessus de l'autre, les orifices peuvent être disposés horizontalement l'un à côté de l'autre ou triangulairement. Quand le four a des régénérateurs, on peut organiser un changement d'introduction de l'air, de sorte que l'air entre alternativement par *b* et *c*, tandis que les produits de la combustion sortent par *c* et *b*. On pourrait également, au moyen d'une modification insignifiante, organiser un changement d'introduction du gaz, pourvu qu'en tout cas, conformément à la description fondamentale, on combine l'*opposition des courants* avec le *rapprochement le plus complet possible des orifices d'entrée et de sortie entre eux*, de façon que le changement dans les régénérateurs ne donne lieu qu'à des modifications insignifiantes de la direction et de l'intensité des courants de gaz qui s'entre-croisent et tourbillonnent dans la chambre de chauffe.

(1) A la façon des foyers Boëtius et Bicheroux.

Deux dispositions spéciales du système sont représentées dans les figures des planches XXV et XXVI.

Dans les deux cas, la chambre de chauffe est celle d'un four à acier, mais pourrait aussi bien être celle d'un four à verre ou avoir toute autre destination; on pourrait notamment en appliquant la disposition des courants opposés aux deux longs côtés d'un four à cuve, en tirer un parti extrêmement avantageux.

Voici le sens des indications dans les six figures en question: *o*, trou de nettoyage; *g*, gaz; *l*, air; *k*, cheminée, c'est-à-dire direction vers elle ; *n*, régénérateur.

La planche XXIII indique l'application de la disposition à un système à régénérateurs avec direction constante des gaz; la planche XXIV a son application à un système à régénérateurs avec changement d'air et montre avec quelle facilité des installations à régénérateurs existantes peuvent être modifiées dans le sens de cette application.

Les lettres et les flèches suffisent à indiquer du reste la signification des dessins.

MOYEN D'ÉVITER LA DÉTÉRIORATION DE LA SOLE DES FOURS A BASSINS.

Les fours à bassins donnent lieu à un entretien d'autant plus onéreux que les dimensions en vont toujours croissant; on a remarqué en effet que la qualité du verre est meilleure avec les bassins à grandes surfaces. D'autre part, l'agrandissement des fours entraîne à des excès de production.

Préoccupé de ces inconvénients, M. Gobbe a cherché l'amélioration de la fabrication tant au point de vue de la qualité du verre que de la construction des fours, en approfondissant les bassins. Il se base sur le principe de physique en vertu duquel les couvertures vitrées des serres laissent pénétrer les rayons lumineux et calorifiques qui s'accumulent au profit des plantes et déterminent une élévation de température semblant parfois hors de proportion avec le degré thermométrique extérieur. Il se passe dans le chauffage des fours à bassins un effet analogue qui explique, selon M. Gobbe, la détérioration *beaucoup plus rapide de la sole* que des autres parois. Les fours étant chauffés par radiation, les rayons de chaleur lumineuse produit par la flamme traversent abondamment la couche de verre qu'ils doivent affiner, viennent frapper la sole du four et se localiser à cet endroit, où ils demeurent comme emprisonnés. Par suite, bien que la sole soit plus éloignée de la flamme que les autres parties de la maçonnerie réfractaire, bien qu'elle ne se trouve pas en contact direct avec les fondants, l'accumulation du calorique provoque l'usure rapide du fond du bassin. Le remède consiste donc à employer une épaisseur de verre suffisante pour absorber entièrement les rayons lumineux et calorifiques, épaisseur variable *avec la teinte du verre, car le pouvoir diathermane augmente avec la blancheur du produit fondu.* Ces

observations expliquent d'ailleurs comment les fours à bassins entraînent à une moindre dépense de combustible que les fours à pots.

Pour retarder l'usure des parois et de la sole des fours à bassins, on a proposé divers systèmes de refroidissement : double enveloppe avec courant forcé d'air froid, injection d'eau sur les parois extérieures. Et tous ces procédés ont dû finalement être abandonnés, et on se contente le plus généralement de donner au bassin des dispositions telles que le refroidissement puisse être assuré par une libre circulation d'air activée, s'il est nécessaire, par des cheminées d'aspiration.

Combustible utilisé dans les gazogènes. — Quel que soit le type de gazogènes qu'on emploie, il y a toujours intérêt à ne faire usage que de charbons secs et nouvellement extraits. En effet, dans la zone supérieure ou zone de distillation, l'eau qu'apporte avec lui un combustible mouillé se volatilise et vient prendre dans les conduites la place du gaz combustible. Il en résulte un refroidissement inutile du gazogène et une diminution de l'activité d'allure.

Quant au combustible fraîchement extrait, il est naturel de ne pas le laisser perdre dans l'atmosphère des matières volatiles qui seront utilisées dans le four; aussi y a-t-il intérêt à consommer du charbon qui n'a pas séjourné longtemps à l'air et en tas volumineux.

Ceci explique comment les usines qui reçoivent leur combustible au jour le jour consomment moins que celles qui, par leur situation, sont contraintes de recourir aux transports par eau et d'avoir toujours un grand stock de combustible.

Le plus généralement les gazogènes sont alimentés, non par une seule espèce de houille, mais par un mélange en proportions déterminées de deux ou plusieurs charbons, les uns très gras, collants, les autres gras, à longue flamme, d'autres plus maigres; assez souvent même, quand la base du mélange est une houille collante, on lui adjoint une certaine quantité de coke en menus fragments.

Ces mélanges de houille sont fréquemment préparés à la pelle et, dans ces conditions, ne laissent pas que d'être très onéreux. D'autre part, le dosage présente forcément des irrégularités résultant soit d'erreur, soit de négligence des ouvriers qui, n'étant pas surveillés constamment, n'apportent pas dans l'exécution de ce travail tous les soins que son importance comporte.

Pour obvier à ces inconvénients, M. Frère, directeur de l'usine à gaz de Saint-Quentin (Aisne), a imaginé et construit un appareil mélangeur automatique fort bien conçu dont nous recommandons l'emploi.

Appareil à mélanger les combustibles. — Nous donnons la description sommaire d'un appareil construit pour mélanger deux natures de houille.

Cet appareil (fig. 176) se compose de deux hélices H, ou vis sans fin d'égales dimensions, dont l'extrémité inférieure plonge dans une trémie T. Les charbons, jetés à la pelle dans les trémies, sont élevés à la partie supérieure, où ils viennent tomber dans une auge en fonte, d'où ils sont entraînés par une

vis sans fin qui complète le mélange et le transporte au-dessus d'orifices d'où il tombe sur le sol.

On comprend qu'on puisse obtenir tel ou tel dosage déterminé qu'on

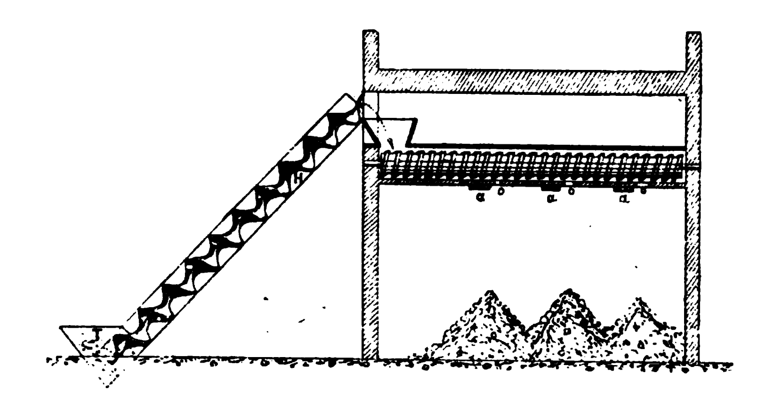


Fig. 176.

désirera, en donnant aux deux vis élévatrices une vitesse différente et correspondant à ce dosage.

D'autre part il est facile de disposer l'appareil de façon à lui faire exécuter un mélange plus complexe de trois ou quatre sortes de houilles.

Analyses et essais des combustibles. — Sans entrer dans le détail des opérations, analyses chimiques ou essais directs qu'il convient d'exécuter, si l'on désire être renseigné exactement sur la valeur réelle des houilles qu'on utilise et sur le mode d'emploi qui convient le mieux à chacune d'elles prise en particulier, nous indiquerons sommairement comment on peut rapidement avoir à ce sujet des renseignements suffisamment exacts pour la pratique.

On procède tout d'abord au dosage des cendres, des principes volatils à la température du rouge vif et du carbone fixe (ou coke), duquel on défalque le poids des cendres.

Ces résultats ne suffisent pas pour classer une houille, car ils ne donnent aucun renseignement sur la nature grasse, collante, des houilles; l'aspect du coke peut, il est vrai, donner quelques indications, mais nous les jugeons encore bien insuffisantes.

Si à ces renseignements on peut joindre ceux qui sont donnés par une analyse élémentaire : dosage du carbone, de l'hydrogène et de l'azote, il devient alors facile de rapporter une houille quelconque à un type déterminé et de prévoir dans quelles conditions l'emploi de cette houille sera le plus rationnel.

Ci-dessous nous donnons la composition de quelques houilles des régions du Nord.

		BULLY	LENS	DROCOURT	FINES St GEORGES	MARLES	BRUAY	ANICHE	ORMONT
Charbon sec.	Gaz	27.00	29.50	23.70	25.00	29.65	29.00	15.80	14.80
	Cendres	11.00	5.90	3.10	10.80	12.00	12.60	8.60	2.40
	Carbone fixe. . .	62.00	64.60	73.20	64.20	58 35	58.40	75.60	82.80
		100.00	100.00	100.00	100 00	100.00	100 00	100 00	100.00
Défalcation faite des cendres et de l'humidité	Gaz	30.00	31.40	24.50	28.00	33.70	33.20	17.40	15.20
	Carbone fixe. . .	70.00	68 60	75.50	72.00	66.30	66.80	82.60	84.80
		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100 00	100.00
	Carbone total . .	83 38	83.70	86 50	82.13	79.85	79.36	88.10	87.40
	Hydrogène. . . .	5.17	4.72	5.18	5.28	5 40	5 00	4.20	4.40
	Oxygène et azote.	11.45	11.58	8.32	12.66	14 75	15.64	7.70	8.20
		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
	Carbone volatil.	13.38	15 10	11 00	10.13	13.59	12.56	5 50	2 60
Oxygène		11 45	11.58	8.32	12.66	14.75	15.64	7.70	8.20
Hydrogène combiné à l'oxygène.		1.43	1.45	1.04	1.58	1.85	1.95	0.96	1.02
Eau de décomposition.		12 88	13.03	9.36	14.24	16.60	17.59	8.66	9.22

Condensation de l'ammoniaque entraîné par le gaz des gazogènes. — On sait que les gaz produits par la distillation de la houille entraînent avec eux une notable quantité d'ammoniaque. Nous en avons trouvé une dose de un millième à un millième et demi dans le gaz des gazogènes. On a proposé de récupérer l'ammoniaque par condensation et transformation en sulfate d'ammoniaque. Mais la condensation des produits volatils exige que les gaz soient refroidis, et la perte s'élève, de ce chef, à 30 pour 100 environ du pouvoir calorifique du combustible employé. Avec des houilles bon marché et un prix suffisamment élevé pour le sulfate d'ammoniaque, l'application de ce système semble parfaitement raisonnable; mais dans les conditions actuelles il en est tout autrement, et les avantages d'une exploitation de ce genre restent au moins problématiques.

Détermination du pouvoir calorifique. — Nous ne ferons que rappeler sur quels principes repose la détermination du pouvoir calorifique des houilles par le procédé Berthier, qui est celui qu'on emploie généralement.

Dans cette méthode on admet que les quantités de chaleur émises par les différents combustibles sont entre elles dans le rapport des quantités d'oxygène que ces combustibles absorbent en brûlant.

On opère l'oxydation du combustible au moyen d'un oxyde métallique, facilement réductible, tel que la litharge, et, du poids de métal réduit, il est facile de calculer, sinon la puissance calorifique, du moins l'équivalent en carbone du combustible essayé.

Cette méthode donne des résultats sensiblement exacts dans les essais de coke; mais pour les houilles il est nécessaire de les compléter par une analyse élémentaire afin de tenir compte de l'action réductrice propre à l'hydrogène libre.

Bombe calorimétrique de M. Berthelot, modifiée par M. Malher. — En raison de l'incertitude des résultats donnés par la méthode à l'oxyde de plomb, nous préférons de beaucoup faire usage de la bombe Berthelot.

Cet appareil (fig. 177), construit par M. Berthelot pour des recherches scientifiques, a été modifié par M. Malher, ingénieur des mines, qui l'a appliqué à la détermination du pouvoir calorifique des combustibles solides, liquides ou gazeux.

Il est constitué par une enceinte métallique, sorte d'obus en acier, émaillé à l'intérieur, d'une capacité de 650 centimètres cubes, dans lequel on effectue la combustion à l'aide d'oxygène sous pression.

L'inflammation est produite à l'aide d'un courant électrique qui porte au rouge un fil de fer très fin et de poids connu.

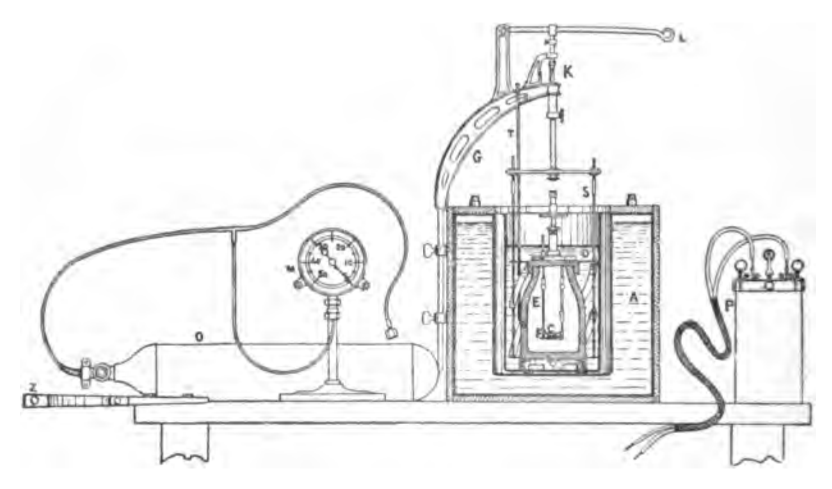


Fig. 177.

La chaleur développée est transmise à l'eau d'un calorimètre dans lequel est plongée la bombe. L'élévation de température de l'eau est constatée à l'aide d'un thermomètre gradué en centièmes de degré.

Cet appareil nous paraît devoir donner des résultats absolument exacts; cependant, dans le cas de combustible gazeux, il nous semble que les résultats ont besoin d'être complétés par l'analyse chimique.

En effet, des gaz possédant le même pouvoir calorifique peuvent, en pratique, se comporter de façon bien différente; ils peuvent, pour leur combustion, ne pas exiger le même volume d'air et par suite ne pas donner la même température.

Il peut y avoir entre les températures de combustion de deux gaz, identiques comme puissance calorifique, un écart très considérable pouvant atteindre 150 degrés, comme on peut le voir dans le tableau ci-après, où nous comparons entre eux cinq gaz possédant le même pouvoir calorifique :

	I.	II.	III.	IV.	V.
CO	21.00	25.00	23.00	19.00	27.00
CO^2	5.00	4.00	6.00	7.00	2.00
C^2H^4	2.00	3.00	5.00	4.50	1.00
H	12.00	4.10	0.00	6.00	8.20
Az	60.00	63.90	66.00	63.50	61.80
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Pouvoir calorifique par m^3.	1114	1114	1114	1114	1114
Volume des produits brûlés.	1^{m3}.860	1^{m3}.882	1^{m3}.960	1^{m3}.950	1^{m3}.804
Température théorique de combustion	1808°	1790°	1725°	1725°	1866°

Il est logique d'admettre que ces écarts de température ne sont pas sans influence au point de vue pratique.

Ainsi, dans certains cas, il est des réactions qui, exigeant une température voisine de 1.800 degrés, ne pourront pas être réalisés avec les gaz III et IV, tandis qu'elles s'effectueront très facilement avec le gaz V; et cependant l'emploi de la bombe calorimétrique aurait indiqué pour ces divers gaz une valeur identique, puisqu'ils ont tous pour pouvoir calorifique 1.114 calories par mètre cube.

En outre, il est encore un élément dont la bombe ne permettrait peut-être pas facilement de tenir compte, nous voulons parler de la vapeur d'eau qui existe dans le gaz en proportion variable.

Dans des essais faits sur du gaz de gazogène Siemens à tirage naturel, nous avons trouvé jusqu'à 5 et même 6 pour 100 d'eau en volume, soit environ 50 litres par mètre cube ou 40 grammes.

Or, un gaz renfermant 40 grammes de vapeur d'eau par mètre cube serait saturé pour une température de 30 à 35 degrés.

Pour que la bombe puisse tenir compte de l'eau dans l'essai d'un semblable gaz, il faudrait que la combustion fût effectuée dans un laboratoire dont la température serait au moins égale à 35 degrés. L'eau du calorimètre ainsi que la bombe devraient naturellement aussi posséder une température de 35 degrés.

Peut-être M. Malher tourne-t-il la difficulté par un moyen qu'il est assez facile de concevoir, mais il n'en est pas fait mention dans les descriptions de son appareil.

CHAPITRE IV

Détermination de la température des fours de fusion. Analyse des gaz des fours. Détermination des températures. — Lorsqu'un verrier a à sa disposition un four bien conçu, bien construit, on est en droit de lui demander de beau verre.

Pour bien conduire un four, pour en tirer le meilleur parti possible, il est

certaines conditions que l'on ne doit pas négliger, qu'il importe de connaître.

Les différentes phases du travail du verre n'exigent pas la même température, et au moment de l'affinage du verre, lorsque la température, qui est allée en croissant jusque-là, a atteint un certain degré, il y a une limite que l'on ne doit pas dépasser dans la crainte de briser les creusets, de détériorer la voûte du four, etc. On doit donc avoir, en même temps qu'une grande habitude de la conduite du four, certains moyens qui, à défaut d'indications mathématiquement exactes, permettent au moins des comparaisons entre les mêmes phases d'un travail dans des fours différents, ou bien, en opérant au même four, permettent de comparer deux phases successives.

Pour la bonne marche des fours, il convient également de connaître la température des gaz de combustion, celle du gaz brûlé, des résidus de la combustion, leur pouvoir calorifique, etc. Nous allons donc examiner ces deux sujets dans ce chapitre.

M. le baron Del' Marmoll, ingénieur et ancien directeur de la glacerie de Courcelles, auteur d'un travail sur la fabrication des glaces, auquel nous avons fait quelques emprunts, a construit un photomètre qui sert en même temps de pyromètre. Cet appareil se compose d'une boîte portative contenant une quarantaine de verres bleus mobiles autour d'un axe. En fixant un point lumineux quelconque, on arrive à en éteindre la lumière par l'interposition suffisante des verres. Le nombre de verres interposés exprime l'intensité de la lumière et également le degré de la chaleur, quand surtout l'observation s'applique aux mêmes substances soumises à des températures lumineuses. On peut ainsi juger immédiatement, dit M. Del' Marmoll, de l'éclat d'un gaz éclairant, du degré de chaleur de chaque partie d'un four, mais ce ne sont là que des indications comparatives.

M. C. W. Siemens a imaginé un pyromètre électrique dont voici le principe, la description et l'usage :

La résistance électrique du conducteur métallique dépend de ses dimensions, de sa nature et de la température à laquelle il est soumis, tout accroissement de sa température entraînant un accroissement de résistance. La loi qui régit cet accroissement est connue. Il en résulte que, étant donnée la résistance d'un conducteur à zéro, on peut calculer sa résistance à tel degré de température que l'on voudra, et, *vice versa*, si l'on peut mesurer exactement la résistance d'un conducteur, on peut calculer sa température. C'est sur ce principe qu'est basé le pyromètre électrique de M. C. W. Siemens.

Une spirale de platine d'une résistance connue à zéro, enroulée sur un cylindre d'argile réfractaire protégé par un tube de fer forgé ou de platine, est exposée à la température qu'il s'agit de déterminer. Des fils sont ménagés pour mettre la spirale en communication avec un instrument propre à mesurer sa résistance, et, cette résistance une fois connue, on peut calculer sa température.

L'instrument employé pour mesurer la résistance électrique de la spirale de platine est un voltamètre différentiel.

Le voltamètre différentiel se compose de deux tubes en verre dans lesquels un mélange d'acide sulfurique et d'eau est décomposé par un courant électrique pas-

sant entre deux électrodes de platine. Le gaz développé est reçu dans la partie supérieure des tubes soigneusement calibrée et on en peut lire la quantité au moyen d'échelles graduées placées derrière les tubes. Le niveau du liquide est ajusté au moyen de réservoirs mobiles communiquant avec les tubes. On divise au moyen d'un commutateur le courant de la pile en deux circuits, dont l'un est représenté par une résistance artificielle adaptée à l'instrument et les électrodes de platine de l'un des tubes et l'autre par la résistance à mesurer et les électrodes de l'autre tube. Les quantités de gaz développées dans les deux tubes sont en proportion inverse des résistances de leurs circuits respectifs : il en résulte que l'une des résistances, à savoir celle de l'instrument, étant connue, l'autre peut être calculée.

INSTRUCTIONS POUR L'EMPLOI DE L'APPAREIL

« Emplissez les éléments avec de l'eau pure, et, au cas où la puissance de la pile tendrait à décroître, avec une solution de sel ammoniac et d'eau ; mettez en communication les pôles de la pile avec B et B′ sur le commutateur ; exposez la petite extrémité du tube jusqu'au cône, à la chaleur qu'il s'agit de mesurer, et mettez les bornes serre-fils X, X′, et C en communication avec les extrémités du câble conducteur marquées des mêmes lettres. Mettez en communication les autres extrémités du câble conducteur avec les bornes serre-fils X, X′, et C sur le voltamètre.

» On emplit le voltamètre avec de l'acide sulfurique étendu d'eau en versant le liquide par les réservoirs et en ayant soin de tenir soulevés les coussins de caoutchouc qui ferment le sommet des tubes. Le commutateur devra être orienté de telle sorte que les ressorts de contact des deux côtés touchent l'ébonite. Le liquide dans les deux tubes devra être ajusté au même niveau, soit zéro des échelles, et on laissera retomber les coussins de caoutchouc. Faites décrire un quart de cercle au commutateur : le dégagement du gaz se produira presque immédiatement. Faites décrire toutes les dix secondes un demi-cercle au commutateur pour renverser le courant. Maintenez le courant jusqu'à ce que le niveau du liquide soit descendu jusqu'à 50 degrés au moins à l'échelle des tubes ; remettez le commutateur dans la première position, c'est-à-dire de manière que les ressorts de contact touchent l'ébonite, laissez le niveau des liquides aux échelles marquées V et V′, trouvez les mêmes nombres sur la table du pyromètre, sur chacun des côtés marqués V et V′, et, au point d'intersection des deux lignes partant de ces nombres, on trouve la résistance de la spirale exposée à la chaleur marquée en chiffres noirs et sa température en chiffres rouges. »

Pour faire une nouvelle expérience il suffit d'ajuster les niveaux des liquides dans les tubes comme il a été dit plus haut.

MM. Siemens ont encore imaginé un autre pyromètre, ou plutôt un pyromètre calorimétrique, basé sur le principe du calorimètre. En France, M. Salleron, l'habile constructeur d'appareils de précision, construit ces appareils dont voici la description :

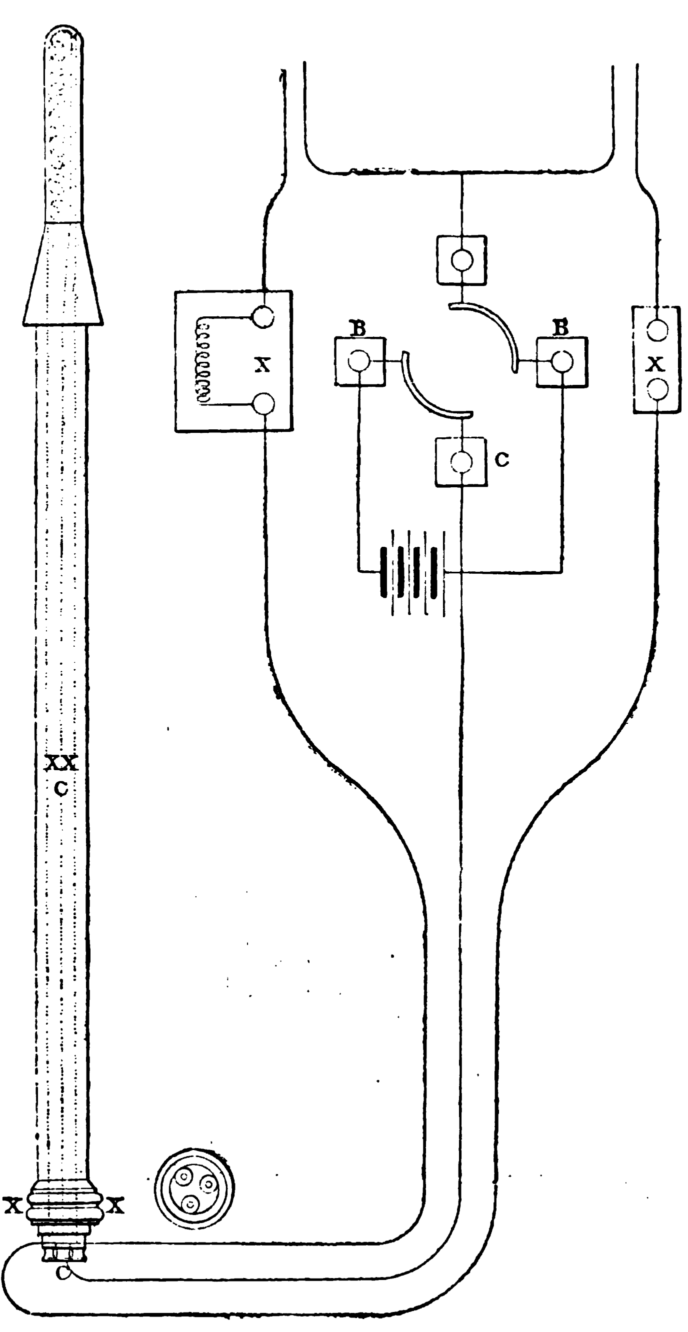


FIG. 178.

INSTRUCTION POUR L'EMPLOI DU PYROMÈTRE SIEMENS

(PYROMÈTRE CALORIMÉTRIQUE)

Les figures 179 et 180 montrent le pyromètre ; la figure 179 est une section verticale, la figure 180 une section horizontale de l'appareil. Il se compose d'un vase cylindrique en cuivre *a* qui peut contenir environ 500 centimètres cubes d'eau, efficacement protégé contre la radiation au moyen d'un double compartiment, dont l'un, le compartiment interne, est rempli de feutre. Un bon thermomètre à mercure *b* y est fixé et est pourvu, outre l'échelle usuelle, d'une petite échelle mobile *c*, graduée et numérotée par divisions de 50 degrés pour chaque degré de l'échelle du thermomètre. Avec chaque pyromètre on fournit en outre un certain nombre de petits cylindres de cuivre dont les dimensions sont calculées de telle sorte que la capacité calorifique de chacun soit égale à 1/50 de celle d'une pinte d'eau.

Pour faire usage du pyromètre, versez d'abord environ 500 centimètres cubes (pinte anglaise $=0^{l},568$) d'eau dans le vase de cuivre *a ;* faites glisser l'échelle mobile de façon que son zéro corresponde au degré de la température de l'eau

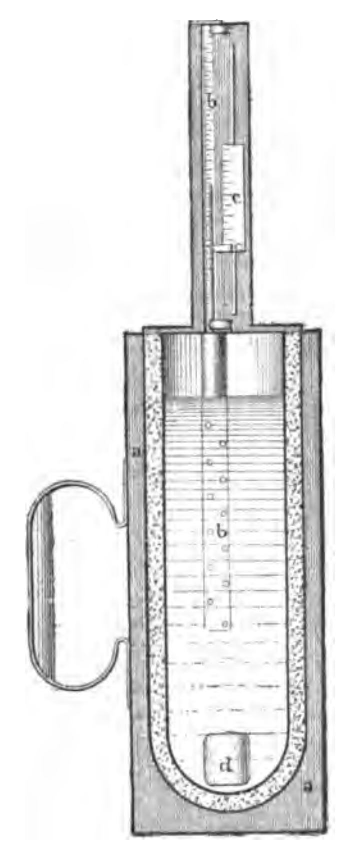


Fig. 179.

indiqué par le thermomètre *b*; prenez ensuite un petit cylindre de cuivre *d* et exposez-le pendant environ deux minutes au courant d'air chaud dont vous voulez mesurer la température; retirez vivement le cylindre lorsqu'il est suffisamment

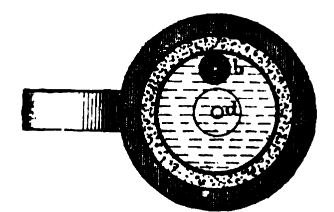


Fig. 180.

chauffé et jetez-le immédiatement dans l'eau contenue dans le vase en cuivre: il élèvera la température de l'eau d'autant de fois 1 degré que sa température contient de fois 50 degrés. On peut voir, au moyen de la petite échelle mobile, quelle est la température du cylindre, et si, à ce chiffre, on ajoute la température de l'eau avant l'expérience, on obtient la température exacte que l'on a cherchée.

Lorsqu'il s'agit de températures très élevées, on peut employer des cylindres de platine au lieu de cuivre.

Ces résultats n'ont encore rien d'absolu.

Ce sont des renseignements approximatifs qui cependant dans certains cas peuvent rendre des services.

M. Hirn a construit un *thermomètre différentiel à air* et l'a appliqué à la physique expérimentale industrielle. M. Hirn a, du reste, donné lui-même la description de cet instrument dans un Mémoire sur les propriétés optiques de la flamme des corps en combustion et sur la température du soleil (1).

Cette description a été donnée dans les *Annales de chimie et de physique*, t. XXX, 1873; elle établit la relation entre la température et la hauteur lue directement sur l'instrument décrit. Ces indications ont un certain intérêt scientifique, mais elles ne répondent pas encore à ce que demande l'industrie qui nous occupe.

Spectro-pyromètre de M. Crova. — L'étude spectrométrique des radiations lumineuses émises par les corps incandescents a conduit M. A. Crova à un nouveau mode de détermination des hautes températures, par l'analyse de la lumière qu'ils émettent.

Les considérations théoriques exposées dans des travaux récemment publiés ont déjà permis de classer par ordre de températures croissantes, les diverses sources lumineuses soumises à l'analyse spectrométrique. Il est facile d'en déduire une méthode purement optique, pour la détermination des hautes températures.

« Prenant, en effet, dans les spectres continus de la lumière émise par deux sources incandescentes, l'une de température connue T, l'autre de température

(1) Voy. aussi *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 21 mars 1870; *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, septembre 1874.

inconnue x, deux radiations simples, de longueurs d'onde très différentes λ et λ', auxquelles nous rapporterons toutes nos mesures ; déterminons, au moyen d'un spectrophotomètre, les rapports $\frac{I}{I'}$ et $\frac{i}{i'}$ des intensités des deux radiations λ dans les deux spectres.

» Le quotient de ces deux rapports représente le rapport des intensités de la radiation λ' dans les deux spectres, lorsque le plus intense a été affaibli de manière à donner la même intensité à la radiation λ dans les deux spectres considérés.

» Deux corps incandescents, ayant même pouvoir d'irradiation, ont même température, lorsque les intensités de toutes les radiations simples de leurs spectres continus sont entre elles dans un rapport constant, c'est-à-dire sont rigoureusement égales entre elles, lorsqu'on a affaibli le plus intense (au moyen de deux nicols), de manière à rendre égales les intensités de deux radiations quelconques, de même longueur d'onde, dans les deux spectres considérés.

» Prenant comme terme de comparaison la lumière d'une lampe modérateur, et soit 1000 sa température dans l'échelle optique, nécessairement arbitraire, des températures. Mesurant, au moyen d'un spectrophotomètre, le rapport des intensités de deux radiations, λ' dans le vert et λ dans le rouge, prises dans la source de température inconnue et dans la flamme de la lampe. Le quotient de ces deux rapports sera un nombre supérieur ou inférieur à 1000, selon que la température de la source considérée sera supérieure ou inférieure à celle de la flamme de la lampe. Si la température de la source lumineuse varie d'une manière continue, les nombres obtenus constitueront une échelle optique arbitraire, dont le degré dépendra de la température de la flamme de la lampe et d'une certaine fonction des longueurs d'onde λ et λ'.

» On a établi la correspondance de cette échelle avec celle des températures d'un thermomètre à air dont le réservoir en porcelaine, porté à divers degrés d'incandescence, est pris comme source de radiations.

» La température de la flamme de la lampe s'obtient en élevant celle du thermomètre à air au degré où les deux spectres sont identiques dans toute leur étendue.

» La table étant ainsi dressée, il suffira d'une simple mesure spectrométrique pour mesurer exactement la température d'un corps incandescent ; je m'occupe de dresser une table de ce genre, en prenant comme radiations fixes celles dont les longueurs d'onde sont 676 et 523. Voici quelques nombres qui représentent, dans cette échelle arbitraire, les degrés optiques de diverses sources lumineuses :

Lame de platine chauffée au rouge dans une lampe à gaz	524
Lame de platine chauffée au rouge blanc par un chalumeau à gaz	810
Lampe modérateur alimentée par l'huile de colza	1000
Bougie stéarique	1162
Gaz de l'éclairage (bec d'Argand)	1373

Lumière oxyhydrique (oxygène et gaz de l'éclairage sur la chaux).............	1806
Lumière électrique (60 éléments Bunsen).	3060
Lumière solaire......................	4049

» Le carbone, la chaux et le platine incandescents ont même pouvoir d'irradiation ; M. E. Becquerel a démontré, en effet, cette identité pour la porcelaine, le platine, le carbone et la magnésie.

» Cette nouvelle méthode permettra d'étendre l'échelle des températures au delà de celles que peut mesurer le thermomètre à air, et qui ne peuvent dépasser celle où la porcelaine commence à se ramollir. Au delà de cette limite, elle sera arbitraire, mais toujours comparable à elle-même et fournira des points de repère rigoureux ; on pourra l'étendre aux limites où la chaleur est assez forte pour vaporiser les corps les plus réfractaires ; on peut même espérer l'étendre au delà de ce point, en appliquant la méthode à la comparaison des intensités des radiations simples émises par les vapeurs incandescentes, pourvu que leur spectre ait plus d'une raie lumineuse.

» Cette méthode permettra de régler et de surveiller l'allure de la température dans les foyers industriels, en disposant à poste fixe un spectrophotomètre en face d'un regard pratiqué dans le fourneau. On obtiendra sa température en degrés centigrades, au moyen d'une table, tant qu'elle sera inférieure à celle du ramollissement de la porcelaine. Au delà de ce point, il faudra se borner à la mesure des degrés optiques de température, jusqu'à ce que le développement de la thermodynamique permette d'établir une relation mathématique entre l'émission lumineuse, à une température donnée et la force vive du mouvement calorifique correspondant. »

MM. Tremeschini et Lion se servent de la chaleur rayonnante pour évaluer la température d'un fourneau ; leur système est décrit dans les brevets anglais (1878, n° 2708). Un tube recourbé en argile réfractaire est placé dans le four et son extrémité ouverte laisse entrer l'air chaud, qui passe ensuite dans un appendice tubulaire en cuivre, placé contre un thermomètre métallique sensible, qu'on peut éloigner ou rapprocher à volonté ; quand le thermomètre se maintient à une température déterminée, l'écartement est proportionnel au carré de la température.

M. Mac Donald relie un tube en métal ou en porcelaine rempli d'azote sec avec un manomètre de Bourdon, qui est muni d'un échelle indiquant les températures ; cet appareil est décrit dans les brevets anglais (1877, n° 1716).

M. W. Maier, d'Ulm, a construit un pyromètre qui se compose d'un tube en fer dans l'axe duquel se meut aisément un arbre. Autour de cet arbre est enroulée une spirale métallique, dont une extrémité est fixée au tube et l'autre à l'arbre. En s'échauffant ou en se refroidissant, cette spirale s'enroule ou se déroule et détermine ainsi un mouvement de rotation de l'arbre qui est rendu visible sur un cadran au moyen d'une aiguille sans aucune transmission. Le métal employé dans le pyromètre Maier ne subit aucun allongement permanent jusqu'à 450 degrés ; mais, si même cet allongement se produisait, le pyromètre se réglerait encore très aisément. M. Fischer est cependant d'avis que les

spirales métalliques ne donnent pas des résultats satisfaisants pour l'estimation des températures élevées.

Le pyromètre de MM. Zabel et C[ie], à Quedlinburg, est basé sur la différence entre les dilatations de deux métaux. Dans une enveloppe fermée *a*, vissée dans la tubulure *b*, se trouve un tube *c*, qui est en laiton ou en cuivre pour les températures élevées, jusqu'à 900 degrés; ce tube est fixé dans la tubulure et porte à son extrémité supérieure la plaque d'appui d'un système de levier. Dans le tube *c* se trouve un second tube *d*, de même métal, qui porte à son extrémité inférieure un tube en acier *e* et est relié à son extrémité supérieure avec le levier. Ce tube *e* est vissé à sa partie inférieure sur le tube de laiton *c*. Quand on plonge la partie inférieure de l'instrument dans le liquide ou dans le gaz du foyer dont on veut mesurer la température, les tubes *c* et *d* s'échauffent et se dilatent également, parce qu'ils sont formés du même métal; mais le tube d'acier *e* se dilate moins et cette différence de dilatation est transmise par le levier à l'aiguille, qui indique la température sur le cadran.

Afin que l'air chaud puisse circuler et sortir des tubes pour les échauffer uniformément, la tubulure *b* est munie de deux ouvertures à chacune desquelles est fixé un appareil filtrant *f*, formé de deux tamis en fil métallique avec une éponge entre les deux, afin que l'instrument puisse également être employé dans les endroits humides ou renfermant de la poussière. Le réglage du cadran a lieu au moyen du disque *g*, après avoir dévissé les pièces *f*.

Un autre pyromètre a été imaginé par MM. Steinle et Hartung, à Quedlinburg. Une enveloppe *a* porte à son extrémité supérieure une boîte *b*, contenant le cadran, et est reliée à son extrémité inférieure en *u* avec le tube perforé *e*; ce dernier supporte sur une partie supérieure, guidée en *k* dans l'enveloppe *a*, le mécanisme de l'aiguille, qui est relié avec le barreau de graphite *g* par le tube perforé *d*. Dès que la longueur du tube *l* varie par suite de l'influence de la température extérieure, le barreau de graphite est mis en mouvement et en même temps aussi l'aiguille, par l'intermédiaire du tube *d*. La longueur de l'enveloppe *a* peut varier à volonté sans exercer aucune influence sur l'aiguille, tandis que les tubes *e* et *d* sont toujours à la même température et conservent aussi la même longueur, parce qu'ils sont perforés et entourés d'une couche d'air épaisse. Pour régler l'appareil, on desserre la vis *s* et on fait tourner l'aiguille au moyen d'une clef. M. Fischer a comparé le pyromètre électrique au graphite avec le pyromètre électrique de Siemens et le calorimètre Fischer, et, pour les basses températures, avec un thermomètre normal à mercure de Geissler, rempli d'azote. Les appareils étaient placés côte à côte dans un fourneau spécialement disposé à cet effet. Il est résulté de ces expériences que les indications du pyromètre au graphite concordent avec celles fournies par le pyromètre Siemens, le calorimètre Fischer et le thermomètre à mercure jusqu'à 450 degrés; mais qu'au delà de ce point, le pyromètre au graphite indique des températures trop élevées.

Le pyromètre de MM. Steinle et Hartung est gradué par comparaison avec un thermomètre à mercure, sans égard à l'augmentation du coefficient de dilatation du fer et du graphite aux températures élevées; de là provient sans doute que l'écart entre les indications des deux appareils est d'autant plus considérable

que la température est plus forte. Ce défaut peut être évité en établissant la graduation avec soin et, comme on peut aisément la régler avant chaque observation, cet instrument se recommande pour beaucoup d'usages spéciaux, à cause de sa facilité de maniement. Le pyromètre Siemens l'emporte sur le précédent pour l'exactitude, mais il est très coûteux. Quant au calorimètre Fischer, il fournit des résultats exacts et est d'un prix modique; seulement son maniement demande un peu plus d'habileté que celui du pyromètre au graphite (1).

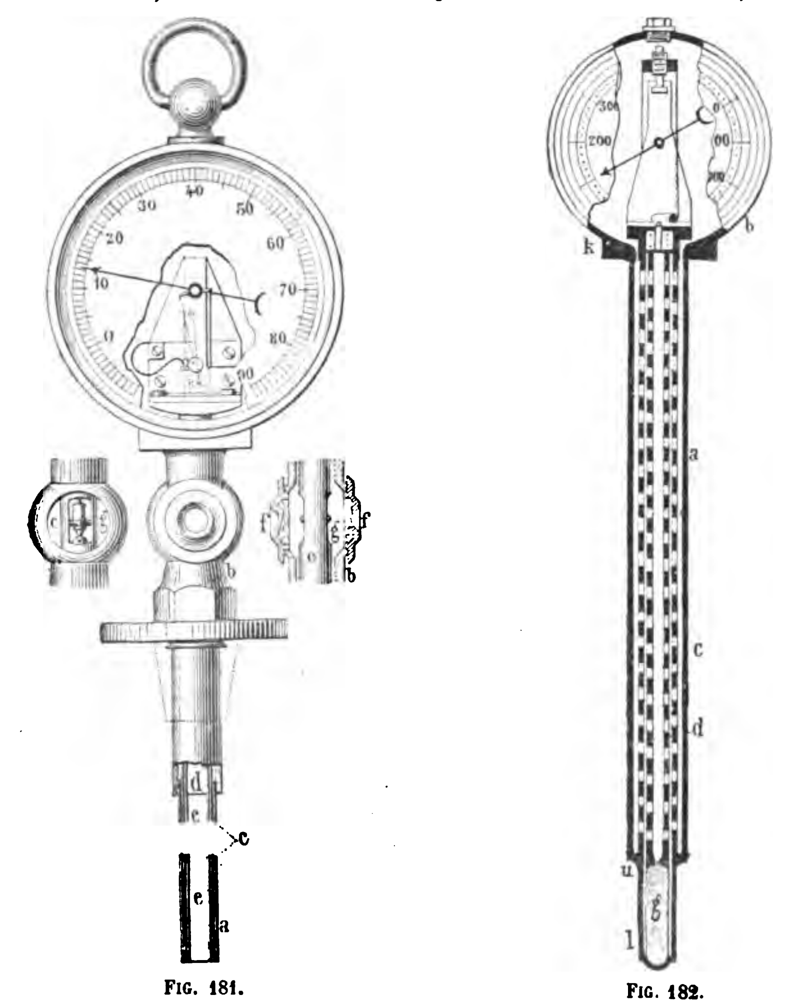


FIG. 181. FIG. 182.

L'emploi d'un cylindre en platine est préférable à celui d'un cylindre en fer, qui doit être souvent nettoyé et pesé, mais les avantages qu'on en retire ne correspondent pas tout à fait à l'augmentation qui en résulte dans le prix de l'appareil.

(1) Voy. le *Bulletin de l'Industrie de Belgique*.

Pyromètre électrique Le Chatelier. — Cet appareil est basé sur le principe suivant :

Si dans une enceinte chauffée on plonge un couple thermo-électrique, il se développe un courant dont l'intensité est d'autant plus grande que la température est plus élevée.

Le couple est formé de platine et platine-rhodié; il est relié à un galvanomètre d'Arsonval, dont le déplacement, sous l'influence du courant, est amplifié par projection dans un rayon lumineux sur une échelle graduée. On peut ainsi facilement lire les indications du pyromètre et suivre la marche du foyer.

Cet appareil permet de prendre des températures périodiquement aux différentes phases du travail d'un four avec des erreurs ne dépassant pas 25 degrés centigrades.

Malheureusement il n'est pas assez robuste pour être mis entre les mains des ouvriers. De plus, il ne peut servir à suivre d'une façon continue les variations de température d'un four.

Si en effet on cherche à réaliser un pyromètre assez robuste pour servir à un usage continuel sans se détériorer, on est, dès l'abord, arrêté par la désorganisation rapide de tous les corps aux températures élevées qui sont aujourd'hui obtenues dans un grand nombre de foyers industriels.

Un seul intermédiaire peut transmettre à l'observateur l'état calorifique d'un foyer sans éprouver d'altération; c'est la matière vibrante, l'éther.

L'emploi des radiations des corps incandescents pour l'estimation de leur température n'est pas une idée neuve; de tout temps l'ouvrier qui conduit la marche de son four à simple vue a fait usage de ces radiations dont il apprécie soit l'intensité absolue et totale, soit les intensités relatives qui se manifestent par des variations de nuance. L'utilisation de ces radiations s'impose pour tout pyromètre que l'on veut assez robuste pour le confier à des ouvriers; il faut simplement chercher à remplacer l'œil comme appareil de mesure par un instrument qui soit plus précis tout en restant assez simple.

De nombreuses tentatives ont été faites pour améliorer le mode d'observation qui utilise les variations de couleur des corps chauffés.

Par l'interposition, entre l'œil de l'observateur et le corps chaud d'un verre de cobalt qui absorbe les radiations moyennes du spectre, on exagère l'amplitude des changements de coloration. On obtient mieux encore ce résultat dans la lunette de MM. Nouël et Mesuré, qui permet, grâce à la combinaison d'une lame de quartz avec deux prismes de Nicol, d'éteindre à volonté une région quelconque du spectre.

Mais aucun de ces procédés ne peut donner des mesures absolues de températures; ils servent seulement à constater soit l'invariabilité, soit le sens de variation d'une température et cela avec une précision assez faible, 50 degrés à peine.

M. Crova a réalisé, sur le même principe, un spectrophotomètre qui semblait devoir comporter une sensibilité plus grande, mais la complication

extrême de son fonctionnement a rendu impossible son usage dans les usines.

Dans son nouveau pyromètre, M. Le Chatelier utilise, pour l'estimation des températures, la mesure de l'intensité absolue d'une radiation déterminée émise par le corps incandescent. Cette idée n'est pas nouvelle, elle a été mise en avant par Becquerel, Violle; mais aucun de ces savants n'en a tenté la réalisation. M. Crova, qui a songé à le faire, a été arrêté par une difficulté qui a peut être, en théorie, une importance, mais qui dans la pratique ne peut jouer qu'un rôle secondaire, à savoir : les différences de pouvoir émissif. Il est bien certain que l'intensité des radiations émises par un corps incandescent ne dépend pas seulement de sa température, mais aussi de la nature particulière de ce corps, de l'état de sa surface; elle ne sera pas la même à température égale pour un morceau de fer et un morceau de brique.

Mais la variation du pouvoir émissif avec la température est tellement rapide (il varie pour les radiations rouges dans le rapport de 1 à 10.000 dans l'intervalle des températures de 700 à 1.700 degrés) qu'en négligeant les différences de pouvoir émissif des divers corps, il n'en résulte généralement qu'une erreur assez faible sur l'estimation des températures.

Il est même un cas qui se présente fréquemment en pratique, dans lequel, à température égale, tous les corps se comportent rigoureusement comme s'ils avaient le même pouvoir émissif : c'est celui où ils sont renfermés dans une enceinte qui soit en équilibre de température avec eux.

Cette condition est réalisée dans un grand nombre de foyers industriels, fours à réverbères par exemple. Kirchoff a démontré que dans ce cas la somme des radiations émises, transmises et réfléchies ou diffuses est indépendante de la nature du corps considéré et ne dépend que de la température.

Les corps dits : *noirs*, c'est-à-dire dont le pouvoir de diffusion et de transmission sont rigoureusement nuls ont, à température égale, le même éclat dans une enceinte chaude ou froide. Pour les autres corps, l'éclat dépend de la température de l'enceinte : un morceau de platine chauffé dans un tube de porcelaine, c'est-à-dire dans une enceinte chaude avec laquelle il est en équilibre, a un éclat plus grand que lorsqu'il est chauffé à la même température dans la flamme d'un brûleur Bunsen, condition qui répond, en raison de la transparence de la flamme, à celle de l'enceinte froide. Mais la différence de l'intensité n'est pas très grande; j'ai trouvé pour le platine et l'argile cuits, qui se comportent sensiblement de la même façon, les résultats suivants :

Température.	Rapport des intensités à température égale.	Différence de température à intensité égale.
800°	2,82	50°
1000°	2,70	90°
1200°	3,17	120°

L'erreur commise sur la mesure des températures, en admettant que les corps considérés ci-dessus sont rigoureusement noirs, c'est-à-dire possèdent le pouvoir émissif maximum, serait donc de 100 degrés environ. On peut très

aisément se rendre compte de la différence d'éclat d'un corps dans une enceinte chaude ou froide et, par suite, de la valeur de son pouvoir émissif réel en en prenant un fragment fendillé ou perforé et le chauffant dans une large flamme d'un brûleur Bunsen. La surface externe est beaucoup moins lumineuse que les surfaces internes des cavités dont la température cependant ne peut, en aucun cas, être supérieure à celle de la surface.

Le photomètre (fig. 183) que M. Le Chatelier a adopté pour la construction de son nouveau pyromètre, est celui de M. Cornu, qui permet de comparer l'image réelle du corps incandescent et celle de la flamme d'une petite lampe à

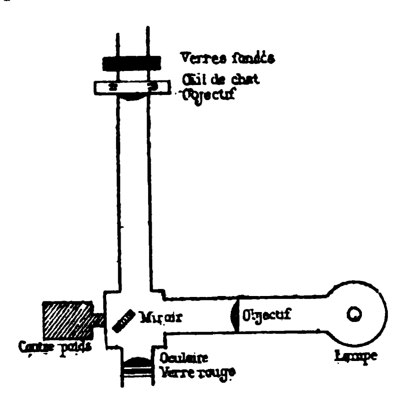


Fig. 183.

essence de pétrole. Les intensités sont ramenées à l'égalité par l'interposition d'un certain nombre de verres nuance fumée et ensuite par l'ouverture variable d'un diaphragme dit œil-de-chat placé entre l'objectif. Un verre rouge placé devant l'oculaire permet de ne faire porter la comparaison que sur des radiations sensiblement monochromatiques, conditions essentielles pour obtenir des mesures précises d'intensité lumineuse.

Le pouvoir absorbant de chacun des verres est mesuré au moyen d'un diaphragme « œil de chat » en visant une même source lumineuse avec ou sans l'interposition du verre foncé. Les intensités lumineuses sont rapportées à celles de la partie brillante de la flamme d'une lampe étalon à acétate d'amyle.

Le tube porte-mèche de cette lampe a 5 millimètres; la hauteur totale de la flamme 25 millimètres et on observe la portion située à 10 millimètres de hauteur. L'éclat de cette flamme diffère d'ailleurs très peu de celui de la flamme d'une bougie de l'étoile ou d'une lampe à essence de pétrole brûlant à l'air libre.

La réalisation de cet appareil a présenté une sérieuse difficulté provenant de l'impossibilité de trouver dans le commerce des verres absorbants foncés qui n'altèrent pas la nuance des radiations rouges recueillies.

Ce n'est que grâce à l'extrême obligeance de M. L. Appert, l'habile fabricant de cristaux et d'émaux, de Clichy-Levallois, que cette difficulté a pu être vaincue.

La graduation de l'instrument, a été obtenue en mesurant l'intensité lumineuse d'une petite sphère de palladium fondue sur la soudure d'un couple thermo-électrique. Une opération a été faite en chauffant cette masse de palladium dans un tube de porcelaine et une seconde en la chauffant à l'air libre dans la flamme d'un brûleur Bunsen.

La première graduation s'applique à tous les corps renfermés dans une enceinte de température uniforme; la seconde aux corps placés à l'air libre, pourvu que leur pouvoir émissif soit voisin de celui du palladium (platine, argile). Pour des corps de pouvoir émissif très faible, comme l'argent, ou de pouvoir émissif très fort, comme la chaux, l'oxyde de fer, il faudrait une graduation différente.

Voici les résultats obtenus dans la lumière rouge, en prenant comme unité d'intensité lumineuse, la flamme d'une lampe à l'acétate d'amyle.

Ces nombres, qui ne doivent être pris que comme une première approximation, ont été déterminés en partant des deux points fixes :

Fusion de l'or. . . . . 1045°
Fusion du palladium. . . . . . . 1500°

Températures.	Intensités.	
	Enceinte chaude.	Enceinte froide.
600°	0,000022	0,0000089
700°	0,00045	0,00016
800°	0,0040	0,0014
900°	0,024	0,0083
1000°	0,105	0,355
1110°	0,33	0,12
1200°	0,89	0,35
1300°	2,22	0,71
1400°	5,0	1,42
1500°	8,9	2,80
1600°	13,2	4,15

Il résulte d'expériences faites aux usines du Creusot qu'il est facile, avec ce pyromètre, d'obtenir des mesures de température concordant à 10 degrés près. C'est là une précision largement suffisante pour les besoins industriels. Cet appareil semble donc convenir parfaitement lorsqu'il s'agit de régler d'une façon empirique la marche d'une opération métallurgique, céramique ou toute autre semblable; ses indications restent absolument comparables entre elles. Mais il convient moins bien pour déterminer la température véritable d'un corps : il ne donne que celle de sa surface, qui sera généralement plus faible que celle de l'intérieur, mais parfois aussi plus élevée, comme dans le cas d'un jet d'acier qui, en s'écoulant à l'air libre, brûle superficiellement.

Lunette pyrométrique de MM. Mesuré et Nouël. — La détermination courante de la température des corps incandescents s'obtient en général par l'appréciation de leur nuance lumineuse en appliquant l'échelle de Pouillet. Le procédé est rapide, mais il manque de précision; l'observation obtenue

est variable pour divers observateurs ou pour le même observateur opérant à divers intervalles de temps ou dans des ateliers différemment éclairés.

La lunette pyrométrique de MM. Mesuré et Nouël écarte ces inconvénients en ramenant la détermination des nuances lumineuses à l'observation rapide d'un phénomène comparable à lui-même en toutes circonstances et susceptible d'être mesuré.

Cet instrument comprend essentiellement : un polariseur et un analyseur, dont le réglage à l'extinction donne le zéro de la graduation du cercle divisé.

Ce cercle, divisé en degrés, est mobile devant un index fixe. Entre les deux nicols est situé un quartz d'épaisseur convenable, taillé perpendiculairement à l'axe.

Une loupe vise l'ouverture garnie d'une glace parallèle ou d'un verre diffusant légèrement dépoli.

Si on examine avec ce polarimètre spécial un corps incandescent, les proportions des divers rayons simples qu'il émet variant avec la température, il s'ensuivra que pour une rotation donnée de l'analyseur, la teinte composée obtenue sera variable avec cette température et que le passage d'une teinte à une autre se fera pour un angle variable suivant la nuance lumineuse du corps incandescent.

Il suffit d'observer le corps incandescent à travers cette lunette et de faire tourner lentement l'oculaire dans le sens de la graduation de son cercle. On trouve bientôt une position variant entre 20 degrés et 90 degrés, où la teinte

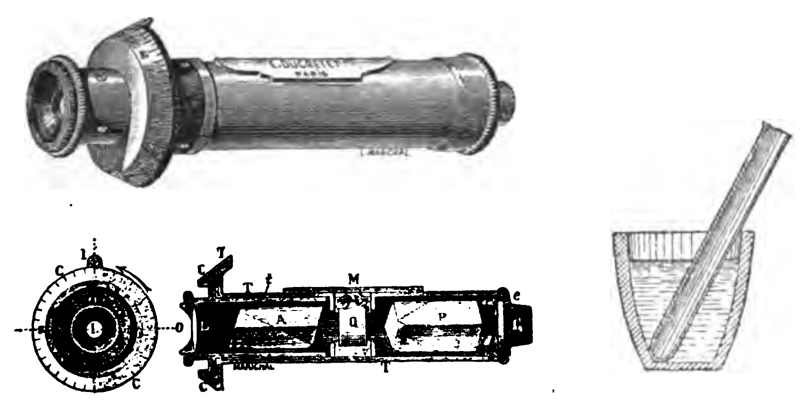


Fig. 184, 185 et 186.

perçue passe rapidement du vert au rouge; cette transition s'opère vers un point de la graduation qui diffère suivant la nuance lumineuse (et par suite la température) du corps incandescent.

Le passage du vert au rouge se produit par une rotation assez faible de l'analyseur; entre ces deux couleurs franches on observe aisément une autre teinte dite de passage, d'une nuance « citron sale. »

C'est cette teinte de passage qu'il faut observer; c'est à ce point qu'on arrête la rotation de l'analyseur. Au chiffre donné sur le cercle par l'obser-

vation de cette teinte sensible correspond la température du corps incandescent.

Les degrés d'angle observés par cette teinte de passage correspondent en degrés centigrades aux chiffres ci-dessous :

40°	du cercle donnent	900°	centigrades,	correspondant	au rouge cerise.
46°	—	1000°	—	—	au rouge clair.
52°	—	1100°	—	—	au rouge orangé foncé.
57°	—	1200°	—	—	au rouge orangé clair.
62°	—	1300°	—	—	au rouge blanc.
66°	—	1400°	—		
69°	—	1500°	—		

Il peut arriver, dans certains cas, que l'appareil reçoive quelques rayons de lumière blanche diffuse en même temps que les rayons du corps incandescent dont on veut apprécier la température, et les résultats sont alors légèrement faussés. On obvie à cet inconvénient en prolongeant la lunette par un tube noirci à l'intérieur et fermé à son extrémité par une glace parallèle.

Pour la détermination des températures inférieures à 900 degrés, qui sont difficiles à apprécier à cause de la faible quantité de lumière émise, on adapte une lunette de plus grand diamètre.

Nous ferons la remarque suivante concernant l'emploi de la lunette pyrométrique. Il est souvent nécessaire d'observer la température de métaux qui, pendant leur fusion, émettent des vapeurs colorées rouges, vertes, etc., lesquelles viennent troubler l'observation de la teinte de passage.

Il en est de même pour l'observation dans un four chauffé directement par le contact des flammes. Dans ces divers cas on adopte le dispositif suivant (fig. 186).

Il suffit de plonger dans le bain métallique ou dans le foyer du tube de fer ou de poterie fermé à un bout et de regarder par le trou ouvert à l'autre extrémité de ce tube. On a alors tout le temps et on évite l'influence des colorations de la flamme.

Le but que l'on doit se proposer dans l'emploi de la lunette pyrométrique est moins de mesurer la température réelle que de pouvoir suivre par des observations comparables entre elle les variations de température d'un corps ou d'un foyer, ou encore de déterminer un point de repère pour la température qui convient à une opération industrielle et de pouvoir toujours retrouver ce point et le reproduire lors d'une nouvelle opération.

A ce point de vue la lunette pyrométrique, qui est d'un emploi facile, peut rendre de grands services.

Pyromètre actinométrique Latarche. — Pour arriver à une évaluation exacte des températures, M. Latarche a pensé que le moyen le plus simple serait de relever, sous un angle déterminé, le degré actinométrique, c'est-à-dire l'écart entre deux thermomètres convenablement disposés, dont l'on marque une température fixe qui sert de base aux mesures, et l'autre une température variable avec l'élévation de la température à mesurer.

Prenons par exemple un thermomètre à boule argentée et un autre à boule noircie, dont l'ensemble constitue l'actinomètre ordinaire, et exposons-les simultanément dans des conditions identiques au rayonnement d'un foyer de chaleur intense, tel que l'intérieur d'un four à poterie, en observant toutefois un éloignement suffisant pour assurer leur conservation. Bien que placés dans un même milieu, l'air ambiant, ces thermomètres n'accuseront pas la même température. Il y aura toujours entre les deux, sous l'action du flux de cha-

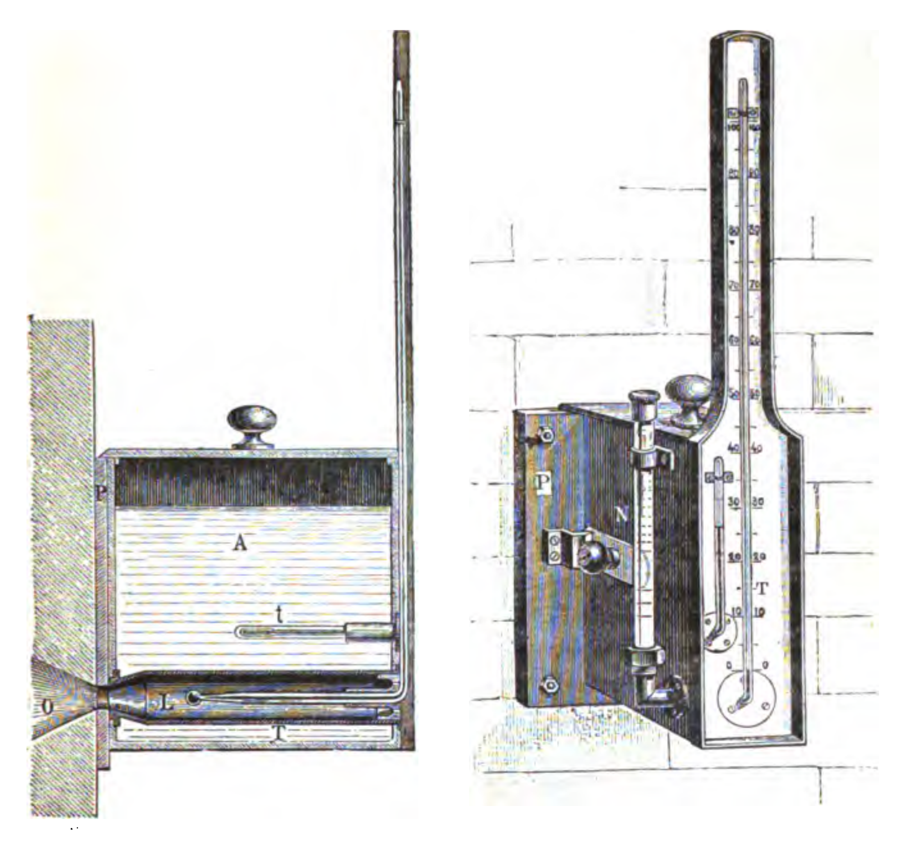


Fig. 187 et 188.

leur, un écart d'autant plus prononcé que la température du four sera plus élevée. La mesure de cet écart nous donnera, à une échelle déterminée, la mesure de la température atteinte ou du moins une indication numérique qui permettra de retrouver aisément cette température dans les opérations ultérieures.

Pour réaliser ce principe, on peut encore adopter une autre disposition qui est plus avantageuse que la précéente, sous le rapport de l'exactitude. Au lieu d'exposer à une même influence calorifiques deux thermomètres ne possédant pas au même degré la propriété d'absorber les rayons incidents, on peut exposer un même thermomètre à deux influences différentes : d'une part,

l'action de la radiation à mesurer qui tend à le faire monter; d'autre part, l'influence d'une enceinte à température constante qui tend à le ramener au zéro de la graduation.

L'appareil Latarche (fig. 187 et 188) est constitué par une cuve A en métal, montée à charnière sur une plaque de fondation P établie à demeure contre la maçonnerie du four.

Cette disposition a pour but de permettre de retirer l'appareil quand il ne fonctionne pas, notamment pendant l'allumage du four. On évite ainsi la condensation sur les surfaces de l'appareil, des poussières et de la vapeur d'eau qui sont surtout abondantes au début de l'allumage.

La cuve A qui renferme deux thermomètres T, *t*, constitue l'enceinte à température constante. A cet effet on la maintient pleine d'eau, que la chaleur du four suffit à maintenir constamment en ébullition.

Le thermomètre principal T est disposé dans un logement étanche L, en regard d'une ouverture circulaire O située dans le bas de la cuve et qui correspond à une ouverture évasée pratiquée dans la maçonnerie du four dont on veut déterminer la température. Cette ouverture donne accès aux rayons de chaleur qui, partant de l'intérieur du four, viennent frapper la surface thermométrique qui est recouverte de noir de fumée ainsi que les parois intérieures de l'appareil.

Le thermomètre *t*, ou thermomètre de comparaison, plonge directement dans l'eau de la cuve et fait connaître la température d'ébullition qui est le zéro de la graduation actinométrique.

Pour le second point fixe, M. Latarche a fait choix du rouge naissant. Pour le fixer sur l'échelle, il place l'actinomètre devant une brique chauffée recouverte de noir de fumée et il place le thermomètre T dans une position telle, par rapport à l'ouverture O, qu'il indique précisément 100 degrés au-dessus de la température d'ébullition de l'eau, soit effectivement 200 degrés centigrades à ce point précis de l'échelle des intensités qui marque la dernière limite des radiations obscures.

Pour mesurer des températures supérieures à l'incandescence, il suffira de diminuer l'angle actinométrique d'une quantité en rapport avec l'énergie de la radiation en éloignant convenablement le thermomètre T ou bien en diaphragmant l'ouverture O.

Si en effet, par l'un ou l'autre de ces deux moyens, on fait en sorte que le thermomètre T ne reçoive plus que la dixième partie des rayons, il n'indiquera plus que 10 degrés seulement au-dessus de la température dont nous venons de définir l'intensité par le point 100. L'effet calorifique étant ainsi réduit au dixième de sa valeur normale, il s'ensuit que le même thermomètre pourra être soumis à un rayonnement dix fois plus intense, sans cependant cesser de fonctionner entre les limites de température pour lesquelles il a été construit.

Nous avons vu fonctionner le pyromètre Latarche et, bien que cet appareil soit encore d'invention trop récente pour qu'il soit possible de se prononcer sur sa valeur réelle, nous pensons qu'il est appelé à rendre de grands services dans la détermination des hautes températures.

Pyromètre Boulier et de Saintignon (fig. 189). — C'est un appareil calorimétrique reposant sur le principe suivant :

Un courant d'eau circule dans le milieu dont on veut déterminer la température avec une vitesse et une pression constantes. Le débit étant ainsi rendu invariable, la température de l'eau s'élèvera d'autant plus que le milieu sera à une température plus élevée. Il suffit donc de mesurer l'accroissement de température du courant d'eau, ce qu'on obtient par la lecture des indications données par deux thermomètres placés l'un à l'entrée, l'autre à la sortie de l'eau.

Le pyromètre se compose de trois parties distinctes : la tige du pyromètre, le thermomètre et son échelle à degrés, le tableau de contrôle et de sécurité.

D'un réservoir supérieur où le niveau est maintenu constant, un tuyau AB amène de l'eau par un tube en caoutchouc à l'extrémité d'un tube I. Ce tube, parfaitement enveloppé, traverse la gaine centrale de l'instrument et vient déboucher à l'extrémité d'un autre petit tube E un peu plus gros, mais fermé et très court, qu'on pourrait appeler le calorimètre, auquel on a donné le nom significatif d'explorateur. L'eau revient par un espace annulaire existant entre les tubes I et E ; et par une ouverture ménagée à l'extrémité intérieure de ce dernier tube, par un tube S traversant également la gaine centrale et rejoignant à l'aide d'un tube en caoutchouc le tuyau C, retourne à la chambre du thermomètre, d'où elle s'échappe par un robinet H.

Pour que les tubes I et S soient bien garantis contre le rayonnement, la gaine centrale est garnie de matière conduisant mal la chaleur ; elle est enveloppée par deux zones circulaires réfrigérantes à travers lesquelles passe un courant d'eau.

On voit que, par ces dispositions, l'eau qui traverse les tubes I et S ne peut ni recevoir ni perdre de la chaleur, et que c'est seulement la chaleur qu'elle recueille qui se trouve être véhiculée dans la chambre du thermomètre. Ce point est essentiel, car les résultats sont ainsi toujours déduits d'une surface déterminée toujours constante dans chaque cas, bien que l'on ait la faculté de la varier en faisant dépasser plus ou moins l'explorateur E.

La production de l'échelle des hautes températures est faite en plongeant le pyromètre dans un milieu à température constante et connue.

Le reproche le plus grave qu'on puisse faire à cet appareil c'est que, après un certain temps de fonctionnement, le tube de circulation d'eau se recouvre intérieurement d'incrustations provenant de la précipitation des matières salines tenues en dissolution dans l'eau. On remédie, il est vrai, à cet inconvénient en faisant usage d'eau de pluie filtrée ou d'eau distillée.

D'autre part, quand le four fonctionne avec une flamme réductrice, il se produit à l'extérieur du tube un dépôt de matières charbonneuses qui fait varier la conductibilité du métal et vient fausser les résultats.

Dans la pratique, on écarte cette cause d'erreur en entourant d'une gaine en poterie le tube de circulation d'eau. Cette manière de faire a, en outre l'avantage de faire indiquer à l'appareil ce que nous appellerons la température moyenne du four, en ce sens qu'elle permet d'éviter les variations brusques dues à des « coups de chalumeau. »

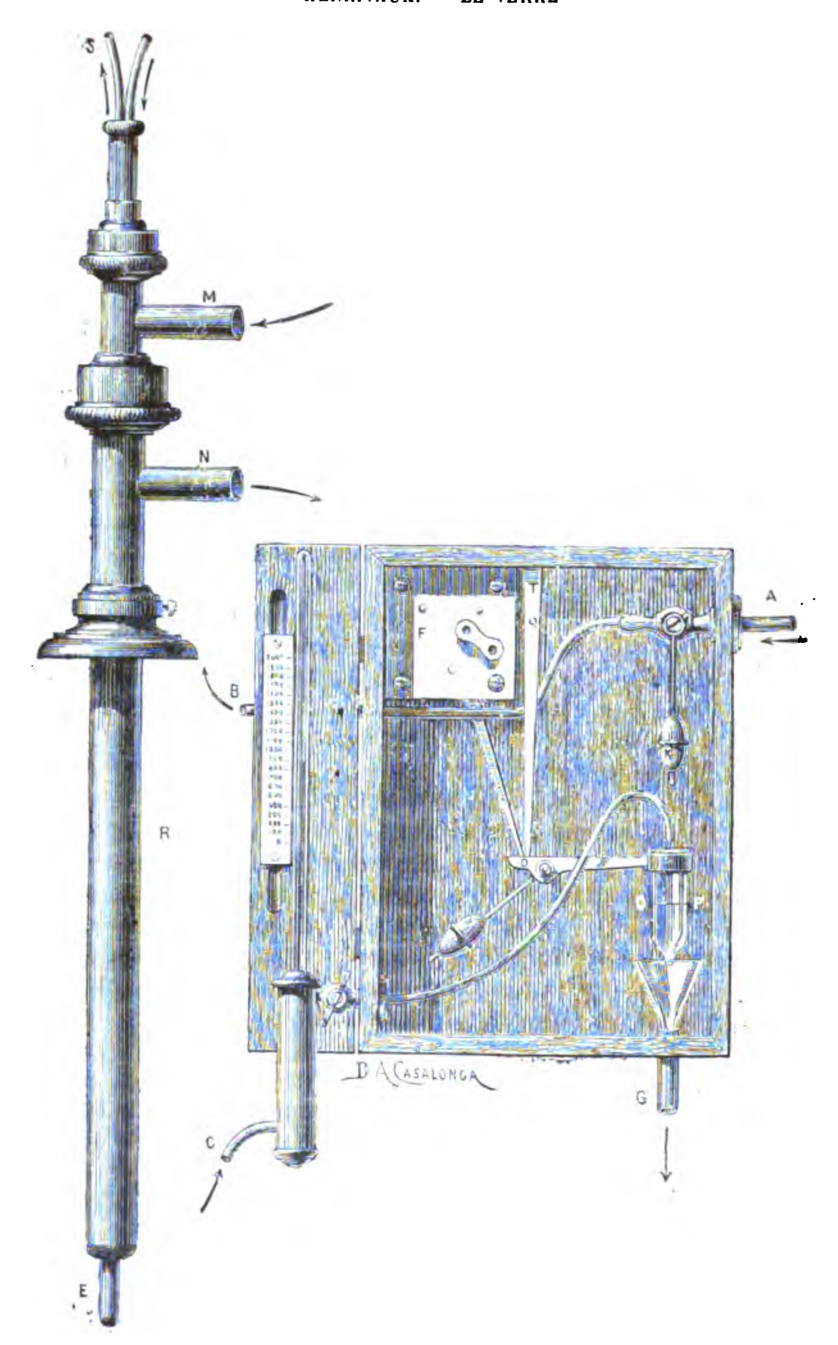


Fig. 189. — Pyromètre avec son appareil avertisseur et de contrôle.

A B. Tuyau venant d'un réservoir à niveau constant.
De B à I. Tube en caoutchouc ne pouvant se plisser.
I. Tube intérieur conduisant l'eau à l'extrémité du calorimètre ou explorateur.

Nous signalerons, tout en regrettant de n'en pouvoir donner exactement la description, un nouveau procédé de détermination des hautes températures, qui vient d'être découvert par M. D. Berthelot. La méthode nouvelle permettrait de prendre la température d'un milieu par le simple examen d'un rayon lumineux qui l'a traversé. On échapperait complètement aux influences de la nature, de la forme et de la dimension de l'enveloppe thermométrique, car il suffit de fixer les points d'entrée et de sortie du rayon lumineux, sans placer ni tube ni appareil quelconque au sein de la masse gazeuse.

Pyroscopes. — Un procédé pyrométrique beaucoup plus simple que ceux dont nous venons de parler, consiste à disposer en différents points du four à étudier, des substances susceptibles de fondre et à observer le moment où elles entrent en fusion. Si on connaît le point de fusion de ces substances, on sera renseigné exactement sur la température atteinte à cet instant; si on ne la connaît pas, on utilisera ces « montres fusibles », non plus pour constater la température absolue atteinte, mais pour servir de régulateur de cuisson et ultérieurement d'indicateur pour l'arrêt du four, lorsqu'on aura par expérience établi que cette arrêt doit coïncider avec la fusion de telle ou telle substance. Naturellement ce procédé ne peut donner d'indications que sur la marche ascendante ou stationnaire de la température; si elle décroît, les montres fusibles n'indiquent plus rien.

On a d'abord employé comme « montres fusibles » des alliages de différents métaux, argent et or, ce dernier alliage était employé pour la détermination des températures très élevées. Quand cet alliage renferme plus de 15 pour 100 de platine (ce qui correspond à 1.160 degrés centigrades), les indications sont douteuses par suite d'une séparation des métaux par liquation. Aussi a-t-on dû faire usage d'argiles mélangées (suivant le point de fusion qu'on veut leur communiquer) à des substances augmentant ou diminuant leur fusibilité, telles que pegmatite, feldspath, borax, sable, craie, etc.

On emploie assez fréquemment des montres fusibles ou pyroscopes dont le point de fusion a été déterminé par comparaison avec les meilleurs appareils pyrométriques; on en forme des séries dont le point de fusion de chacun des termes est inférieur de 25 à 30 degrés à celui du terme qui le suit immédiatement. Avec ces pyroscopes, il est facile de reproduire une opération dont

E. Explorateur d'où l'eau échauffée revient.
S. Tube de retour de l'eau.
De S à C. Tube en caoutchouc ramenant l'eau échauffée à la chambre où plonge la boule du thermomètre.
H. Robinet de réglage du débit.
O P. Ligne constante du niveau de l'eau dans le godet suspendu à l'extrémité du levier de la balance, tant que le débit ne varie pas.
D. Extrémité du levier s'abaissant quand le godet s'élève, et dégageant les deux lames de ressort, l'une agissant sur une sonnerie, l'autre dégageant le contrepoids K, lequel ferme le robinet A intercalé sur le tube A B.
G. Tuyau d'écoulement de l'eau.
M. Tuyau d'arrivée de l'eau réfrigérante du corps R, allant à l'extrémité de ce corps.
N. Tuyau de sortie de l'eau réfrigérante.
R. Corps réfrigérant de l'appareil.

on connaît la température limite. Il suffit de placer dans le four deux montres consécutives de la série : la première présentant la température qu'il faut atteindre, la seconde indiquant la température qu'il ne faut pas dépasser.

CHAPITRE V

ANALYSE DES GAZ DES FOURS

Appareil Orsat pour l'analyse industrielle des gaz. — M. Orsat s'est proposé de modifier les divers systèmes d'analyses rigoureuses des gaz employés dans les laboratoires en leur substituant un appareil capable de fournir des résultats suffisamment approchés, tout en présentant l'avantage d'un fonctionnement rapide. Beaucoup de questions industrielles importantes, notamment celles qui se rattachent à l'application de la chaleur, peuvent être résolues par l'analyse des gaz de la combustion. L'emploi d'un appareil portatif, permettant d'opérer des analyses sans connaissances approfondies en chimie, peut rendre de véritables services aux ingénieurs et aux industriels. L'appareil a été successivement perfectionné pour rendre plus nombreux et plus certains les dosages des gaz dans certains mélanges complexes.

Dans l'industrie, il est important, lorsqu'il s'agit des appareils chauffés par les combustibles gazeux, de reconnaître si le gaz combustible ne contient pas de proportion élevée d'acide carbonique. Il convient donc de pouvoir contrôler le fait par un moyen simple et peu dispendieux, qu'un contremaître ou un ouvrier intelligent puisse appliquer. D'autre part, pour juger du bon emploi des combustibles solides pour le développement de la chaleur, il importe de pouvoir reconnaître dans l'air brûlé (c'est-à-dire dans les gaz provenant de la combustion opérée dans les foyers), la proportion d'oxyde de carbone, proportion qui sera d'autant plus considérable que la chaleur de combustion aura été moins bien utilisée.

Déterminer dans l'air brûlé les proportions d'oxygène, d'azote, d'oxyde de carbone et d'acide carbonique, et surtout la proportion relative de ces deux derniers gaz, c'est être à même d'apprécier le bon fonctionnement d'un appareil calorifique : fours divers, foyers de chaudières.

L'appareil de M. Orsat, entièrement en verre, muni de robinets appropriés également en verre, permet de porter le gaz, qui doit être mesuré sur l'eau acidulée ou glycérinée, successivement en contact avec divers appareils absorbants de l'acide carbonique, de l'oxygène, de l'oxyde de carbone, de sorte que le résidu, après cette série de mesurages successifs, peut être considéré comme de l'azote, si toutefois l'hydrogène et les carbures d'hydrogène font défaut dans le gaz.

L'appareil peut être facilement mis en communication avec l'intérieur d'une cheminée, avec l'atmosphère des produits de combustion, etc. L'appel se fait en déplaçant un flacon D contenant de l'eau et portant une tubulure inférieure, munie

d'un tube de caoutchouc O, de longueur suffisante, communiquant avec le bas du tube mesureur B; c'est le flacon du système Sainte-Claire Deville. En soulevant ou en abaissant ce flacon on détermine soit l'appel du gaz à analyser dans le tube mesureur, soit le refoulement du gaz mesuré successivement dans chacun des appareils absorbants, suivant que les robinets des cloches d'absorption seront fermés ou ouverts.

Une nouvelle manœuvre du flacon permet de ramener le gaz dans le tube mesureur après une première, une deuxième absorption, etc. Pour atténuer les effets des variations possibles de température dans les mesures successives, le tube mesureur est entouré d'un manchon en verre rempli d'eau. Ces opérations sont très rapides, en raison des contacts multipliés du gaz avec les liquides absorbants, savoir : la lessive de potasse E pour l'acide carbonique, le pyrogallate de potasse alcalin pour l'oxygène, le sel cuivreux ammoniacal F pour l'oxyde de carbone.

M. Orsat a muni son appareil d'une petite trompe en verre, qui, mise en communication avec la source de gaz à analyser, balaye l'air de l'appareil et le remplace par le gaz même sur lequel doit porter l'analyse. Tous les mesurages sont faits dans le même tube gradué qui termine l'appareil et au contact du même liquide. Le goulot supérieur du flacon tubulé communiquant avec l'atmosphère, il suffira d'amener la surface du liquide dans le tube mesureur et celle du liquide du flacon dans un même plan horizontal, pour que tous les mesurages

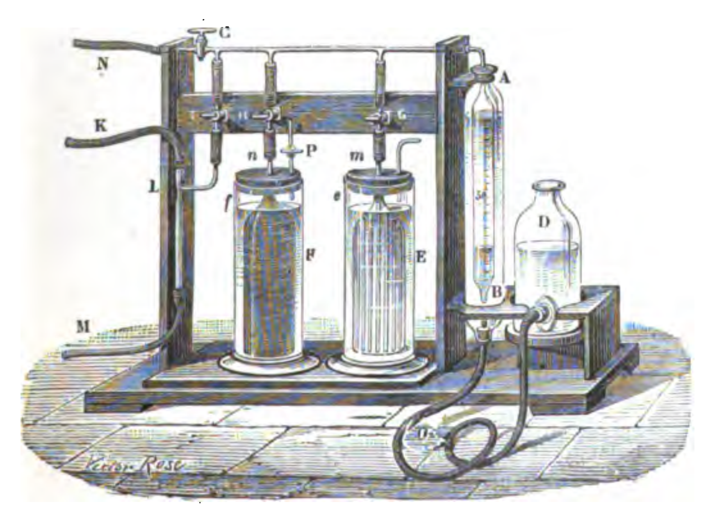


Fig. 190.

se trouvent faits à la pression atmosphérique. Dans l'origine, l'appareil de M. Orsat ne se composait que de deux cloches distinctes (fig. 190) pour les absorptions; dans la première on absorbait l'acide carbonique par la potasse, dans la seconde on absorbait simultanément l'oxygène et l'oxyde de carbone au moyen du réactif cuivreux ammoniacal. Lorsqu'on se proposait de doser dans les gaz brûlés l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique et l'oxyde de carbone sans

admettre d'autres gaz, on faisait par le calcul le départ de l'oxygène et de l'oxyde de carbone évalués d'abord ensemble par la même absorption. Pour cela on supposait que la proportion d'azote, de la mesure finale, était primitivement mélangée à la proportion normale d'oxygène de l'air atmosphérique; soustrayant alors de l'oxygène ainsi calculé, l'oxygène de l'acide carbonique, le reste, comparé à l'absorption par le réactif cuivreux, permettait de reconnaître s'il y avait de l'oxyde de carbone, en même temps que de l'oxygène libre. En effet, dans ce cas, l'absorption sera plus grande que le complément calculé pour arriver à l'oxygène total corrélatif de l'azote.

Depuis, M. Orsat a perfectionné son appareil par l'addition d'une cloche ou tube complémentaire, destinée à absorber l'oxygène par le pyrogallate de potasse alcalin, de sorte que le sel cuivreux ammoniacal absorbe ensuite l'oxyde de

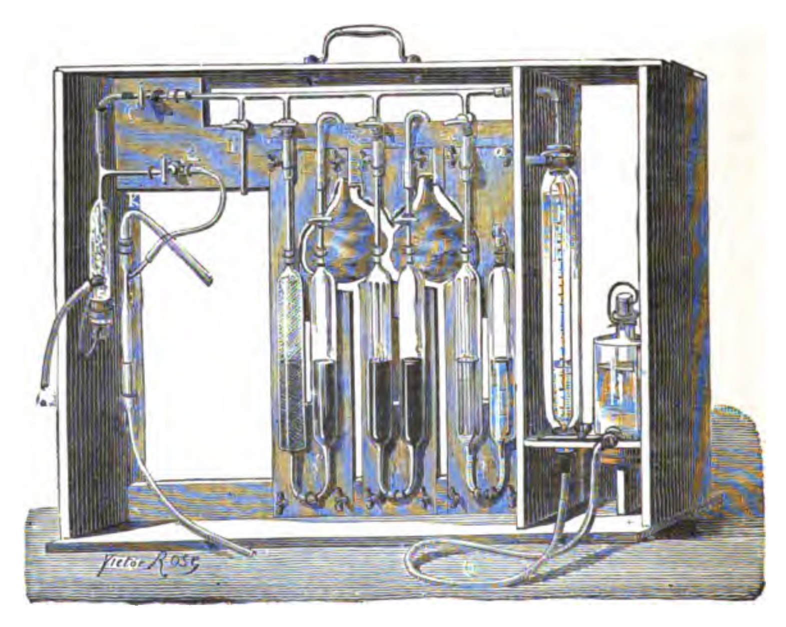


Fig. 191.

carbone seul; le résidu est de l'azote pur, si toutefois le gaz ne renferme ni hydrogène, ni hydrogène carboné (fig. 191). Enfin, comprenant que, dans plusieurs cas spéciaux, le résidu gazeux de la dernière absorption pouvait contenir de l'hydrogène et même un peu d'hydrogène protocarboné qui seraient comptés comme azote, M. Orsat a ajouté à son appareil, un tube avec une spirale intérieure en platine S, faisant fonction d'eudiomètre et pouvant brûler (lorsqu'elle est amenée à l'incandescence par un courant électrique) les gaz en partie combustibles (provenant de la dernière absorption) en présence d'oxygène ajouté en quantité connue. Il reste alors à faire l'analyse des gaz de cette combustion. Tel est l'objet des appareils figurés à la droite du flacon *a* (fig. 192). L'appareil de M. Orsat a servi à analyser les gaz des fours Siemens. Beaucoup d'ingénieurs et d'industriels l'emploient d'une manière habituelle dans leurs usines.

Enfin, cet appareil rendu portatif a permis de réaliser sur des trains de chemins de fer en marche l'analyse des gaz de la combustion échappant des foyers des chaudières de locomotives.

Plusieurs expériences de ce genre ont été faites sur le chemin de fer du Nord et ont donné des résultats comparatifs intéressants.

A l'époque de l'Exposition universelle de 1878, plus de cent appareils étaient déjà entre les mains des ingénieurs et des directeurs d'usines.

Nous renvoyons au mémoire de M. Orsat, publié dans les *Annales des mines* de 1785, pour les chiffres qui résultent d'analyses variées de gaz de diverses sources. Voici la description de l'appareil à deux cloches, construit dans le principe par M. Orsat (fig. 190) :

(D, flacon servant d'aspirateur, rempli à moitié d'eau acidulée; il est bouché quand on ne se sert pas de l'appareil ;

B, tube mesureur entouré d'un manchon rempli d'eau froide; il est muni d'une échelle graduée ;

O, tube en caoutchouc mettant en communication le flacon D et le tube B, il doit être assez long pour permettre d'élever ou d'abaisser à volonté d'une quantité suffisante le flacon *a;*

E, éprouvette renfermant la cloche à potasse. Cette cloche contient plusieurs petits tubes ouverts aux deux bouts destinés à faciliter l'absorption;

F, éprouvette à pied renfermant la liqueur ammoniacale ainsi qu'un manchon en toile de cuivre rouge;

C, tube presque capillaire, destiné à aspirer les gaz à analyser, et communiquant avec le tube mesureur B ;

G, premier branchement mettant en communication le tube *f* avec l'éprouvette E;

H, deuxième branchement mettant en communication le tube *f* avec l'éprouvette F ;

L, petite trompe servant à purger les conduites d'arrivée du gaz;

I, troisième branchement reliant la trompe L au tube *f;*

C, robinet d'aspiration des gaz à analyser ;

I, robinet réglant la communication entre le tube *f* et la trompe L;

H, robinet réglant la communication entre le tube *f* et l'éprouvette F;

G, robinet réglant la communication entre le tube *f* et l'éprouvette E;

L, tube de communication de l'éprouvette F avec l'atmosphère;

P, robinet de communication de l'éprouvette I avec l'atmosphère; il doit toujours être fermé quand on ne se sert pas de l'appareil, ainsi que l'indique la figure, les branchements *g, h, i* sont montés sur des manchons de raccordement qui rendent l'appareil facile à démonter).

(Fig. 192). Vue perspective de l'appareil; complet composé de deux parties séparées par une cloison A et renfermé dans sa boîte, dont les grandes parois antérieures et postérieures ont été enlevées. Les lettres de cette figure n'ont aucun rapport de désignation avec celles de la figure 190.

Première partie de l'appareil. — *a.* Flacon analogue à celui de l'appareil précédent.

b. Tube mesureur gradué avec son manchon d'eau froide.

c. Tube en caoutchouc réunissant le flacon *a* et le tube *b*.

d. Rampe formée d'un tube de verre capillaire communiquant avec le sommet du tube mesureur *b*.

Cette rampe porte du côté gauche de la cloison *a*, quatre tubulures 1, 2, 3, 4, fermées par des robinets de verre.

e. Robinet situé à l'extrémité gauche de la rampe *d*, et servant à l'admission des gaz à analyser.

f. Robinet de la tubulure 4 servant à expulser les gaz à l'extérieur.

g g'. Tube en U contenant la lessive de potasse, dont la branche *g* renferme des tubes capillaires en verre ouverts aux deux bouts et communique avec la rampe *d*, tandis que la branche *g'* communique avec l'atmosphère. Ce tube est celui qui dose l'acide carbonique contenu dans les gaz.

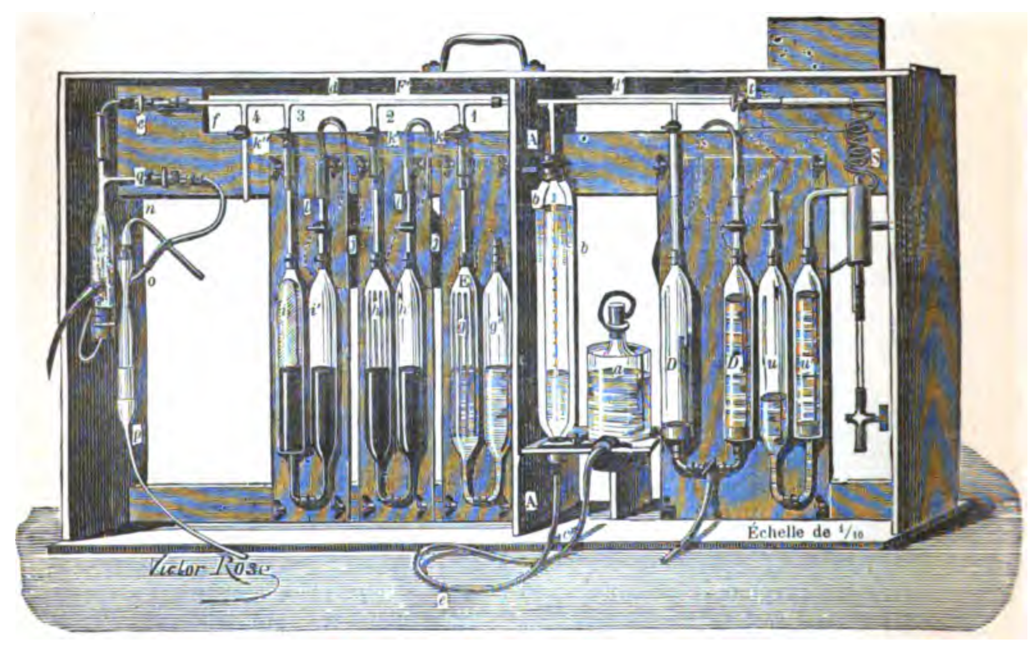


Fig. 192.

h h'. Second tube en U, contenant du pyrogallate de potasse, dont la branche *h* renferme également des tubes en verre et communique avec la rampe *d*, tandis que la branche *h'* communique par un coude avec un ballon en caoutchouc flasque, contenant de l'air dépouillé d'oxygène; ce tube est celui qui dose l'oxygène.

i i. Troisième tube en U, contenant un mélange de chlorhydrate d'ammoniaque saturé à froid et d'ammoniaque, dont la branche *i* renferme une toile de cuivre rouge enroulée sur elle-même et communique avec la rampe *d*, tandis que la branche *i* communique par un coude avec un ballon en caoutchouc flasque, analogue au précédent; ce tube est celui qui dose l'oxyde de carbone.

j j. Ballons en caoutchouc contenant de l'air et avec lesquels communiquent

les branches *h* et *i'* des tubes en U, *h h'* et *i i'*. Ces ballons sont représentés en lignes ponctuées sur la figure parce qu'ils sont placés derrière les planchettes qui supportent les tubes.

k k' k''. Robinets de verre des tubulures 1, 2, 3, établissant la communication avec les branches *g*, *h*, *i* des tubes en U.

l l'. Robinets servant à mettre les tubes *h h'*, *i i'*, en communication avec les ballons *j*.

m. Tube rempli de coton cardé, relié à la rampe *d*, près du robinet *e*; c'est par ce tube qu'arrivent les gaz à analyser dont les fumées et poussières sont retenues par le coton.

n o p. Petite pompe permettant l'aspiration des gaz pendant que l'on fait une analyse.

q. Robinet mettant en communication la trompe *n o p* avec le tube *m*.

r. Prise de gaz en communication directe avec le tube à coton *m*.

Voici maintenant comment on opère : on commence par purger la conduite, soit en utilisant la trompe *n o p*, soit en aspirant les gaz au moyen de l'aspirateur *a* et les rejetant ensuite dans l'air par le robinet *f*. Lorsque la conduite est suffisamment purgée et le robinet *f* refermé, on aspire dans le mesureur *h* un peu plus de 100 divisions, puis on ferme le robinet *e* : on pose alors le vase *a* sur son support et l'on ouvre lentement le robinet *f*. L'équilibre de pression s'établit rapidement, et comme au préalable on a eu soin de remplir le vase *a* d'une quantité d'eau telle qu'étant placé sur son support le niveau correspondant du mesureur affleure exactement au trait 100, on a ainsi mesuré 100 divisions à la pression et à la température ambiantes.

Fermant de nouveau le robinet *f*, on ouvre le robinet K et on élève le flacon *a*, le gaz passe alors dans le tube *g g'*. On évite que le liquide monte jusque dans les tubes capillaires, en tenant le tube en caoutchouc *c* de la main gauche ; en pressant ce tube on règle de la manière la plus simple l'ascension et la descente des liquides. Du tube *g g'* on fait repasser le gaz dans le mesureur en abaissant l'aspirateur *a* et l'on répète deux ou trois fois la même manœuvre. On ramène alors le liquide du tube *g g'* au repère marqué sur la tige qui forme le zéro, on ferme le robinet K ; puis on mesure le gaz restant en ayant la précaution de lever le flacon *a* de façon que les niveaux du liquide dans le mesureur et dans l'aspirateur soient sur un même plan horizontal. On passe ensuite successivement aux tubes *h h'*, *i i'* en notant chaque fois les diminutions de volume, la manœuvre est absolument la même que pour les tubes *g g'*.

Deuxième partie de l'appareil. — Cette deuxième partie de l'appareil à droite de *a* (fig. 192) est destinée au dosage de l'hydrogène et des hydrocarbures que peut contenir le résidu de la dernière opération faite à l'aide de la première partie de l'appareil.

d. Prolongation de la rampe *d* conduisant au serpentin vertical *s*.

s. Petit serpentin formé d'un tube capillaire en platine ou d'un tube en spirale contenant un fil de platine ; ce serpentin doit être, pour l'opération, chauffé au rouge blanc par un bec de gaz, une lampe à alcool ou un courant électrique.

t. Robinet d'admission placé sur une lampe *u u'*, tube en U rempli d'eau analogue à ceux de la première partie de l'appareil dont la branche *o* communique avec l'atmosphère, et dont la branche *v'* communique avec l'extrémité inférieure du serpentin *s*. Ce tube a pour but de servir de récipient aux gaz expulsés du mesureur *b* et de les renvoyer de nouveau à ce mesureur.

v v'. Second tube en U renfermant une lame de zinc et de l'acide sulfurique étendu dans la branche *v*, communique au moyen d'une tubulure et d'un robinet avec la rampe *d* et dont la branche *v'* communique avec un ballon en caoutchouc analogue à ceux ci-dessus décrits.

Ainsi que l'indique la figure 192, on voit dans les deux parties de l'appareil comment les tubes en *s* sont disposés sur des planchettes verticales, qui se placent et se déplacent à volonté au moyen de vis.

EUDIOMÈTRE A FIL DE PLATINE OU GRISOUMÈTRE DE M. COQUILLION (1)

L'appareil que nous allons décrire sous le nom général d'*eudiomètre à fil de platine* peut servir à doser les mélanges gazeux dans les cas les plus usuels. Il est appliqué principalement à la mesure des gaz des foyers industriels ; à la recherche du grisou dans les mines, d'où le nom de *grisoumètre* qu'il a reçu dans ce cas; il peut servir enfin au dosage du gaz de l'éclairage et à l'étude de la décomposition des composés carbonés en présence de la vapeur d'eau.

PRINCIPE DE L'APPAREIL

Lorsqu'on veut rechercher dans un mélange gazeux de petites quantités d'hydrogène ou de carbures d'hydrogène, on est obligé d'avoir recours à un mélange détonant; l'*eudiomètre à fil de platine* permet de supprimer complètement l'emploi de ce mélange, car le fil de platine ou de palladium porté au rouge blanc peut brûler les moindres traces d'hydrogène de l'air.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Cet eudiomètre se compose d'un tube gradué A (fig. 193), c'est le mesureur; sa partie supérieure est capillaire et en forme de T; elle porte un robinet percé à angle droit et situé au croisement des deux branches. Les graduations du tube portent des divisions en dixièmes. Ce mesureur est entouré d'un manchon plein d'eau qui peut recevoir un thermomètre pour indiquer les variations de température; à sa base, il est relié avec un tube en caoutchouc qui vient s'adapter à un flacon que l'on peut soulever ou abaisser à la main.

La seconde pièce est une cloche en verre B, terminée également, à sa partie

(1) M. Coquillion, *Analyse des gaz*. Paris, librairie Eug. Lacroix.

supérieure, par un tube capillaire en forme de T, reliée au mesureur par un caoutchouc et portant un robinet à trois voies. Cette cloche est entourée d'une éprouvette contenant de la potasse ; elle est munie à son intérieur de tubes en verre destinés à multiplier les contacts du réactif avec les gaz.

La troisième pièce est le brûleur C, formé d'une petite cloche renversée et coudée, qui se raccorde avec la seconde pièce par un tube en caoutchouc. Cette petite cloche est fermée par un bouchon en caoutchouc à trous. Dans deux de ces trous passent des tiges métalliques en laiton ou en platine, munies de vis à leurs deux extrémités. Les vis qui sont à l'intérieur doivent serrer un fil de platine enroulé en spirale, celles qui sont à l'extérieur pressent les fils qui se raccordent aux deux pôles de la pile. Dans le troisième trou du bouchon passe la tige d'une cloche analogue à la précédente, et qui est entourée d'une éprouvette. Il faut éviter de rendre cette tige capillaire, car les gaz trouveront un écoule-

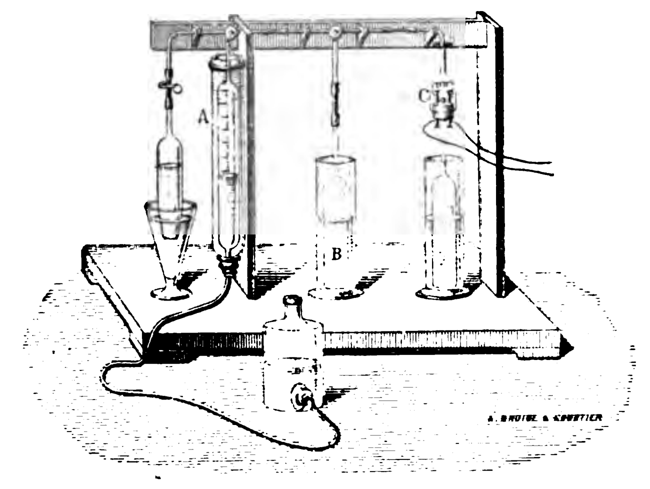


Fig. 193.

ment plus facilement dans le cas d'une détonation qu'il est facile du reste d'éviter avec quelques précautions.

Toutes ces pièces sont fixées à un cadre vertical et consolidées par de petits taquets ; le tout repose sur un support horizontal.

Dans les cas où l'on aura à analyser des mélanges gazeux complexes, il faudra compléter l'appareil par des réactifs appropriés ; on aurait pu faire usage de cloches analogues à la cloche à potasse ; mais comme, dans ce cas, les réactifs agissent lentement et qu'on ne peut agiter, il est préférable de se servir de doubles flacons, d'une capacité double ou triple de celle du mesureur. Ces doubles flacons peuvent être bouchés tous deux, mais le bouchon de l'un d'eux est muni d'un tube en verre, continué par un tube en caoutchouc fermé par une pince de Mohr ; ce tube peut s'adapter à la pointe du mesureur et le gaz peut être refoulé dans le flacon. Les deux réactifs dont on fait ordinairement usage sont : le chlorure de cuivre acide ou ammoniacal et le pyrogallate de potasse. Ce dernier devra être complètement à l'abri de l'air ; il suffira de verser un peu de benzine dans le flacon qui ne reçoit pas le gaz.

MISE EN MARCHE DE L'APPAREIL

Pour nous rendre compte de la manière dont fonctionne cet eudiomètre, il est nécessaire que le mesureur, le brûleur et les tubes capillaires soient pleins d'eau. A cet effet, on remplit aux trois quarts d'eau acidulée le flacon élévateur, on verse également de l'eau ordinaire dans la dernière éprouvette, et de la potasse dans la première.

La manœuvre des robinets va nous permettre, en élevant ou en abaissant le flacon, de remplir tout l'appareil de liquide; il est facile de voir, en effet, comment le mesureur peut être mis en communication, soit avec chacune des cloches, soit avec l'extérieur : le robinet de ce mesureur porte deux conduits, percés à l'angle droit; lorsque l'un d'eux est vertical et dirigé en bas, que l'autre est à gauche du premier, le mesureur est en communication avec l'air extérieur; lorsqu'il est à droite, il est en communication avec la cloche ou le brûleur. Le robinet de la cloche à potasse étant à trois voies, les conduits de la clef représentent un T; lorsque le T est couché, la branche verticale en avant, la cloche peut communiquer avec le mesureur; lorsque le T est renversé, c'est comme si le robinet n'existait pas, le gaz peut être refoulé dans le brûleur et l'eau peut monter dans les capillaires, selon que l'on élève ou que l'on abaisse le flacon. Il y a donc pour chacun des robinets deux positions pour déterminer le mouvement des fluides; dans toute autre position, ces robinets sont fermés et interceptent les communications.

Si le robinet du mesureur est en communication avec l'atmosphère, il suffit de soulever le flacon pour expulser l'air et faire sortir l'eau de l'appareil; on tourne alors le robinet du côté de la cloche à potasse, ce qui met cette dernière en communication avec le mesureur; en abaissant le flacon, la potasse monte dans la cloche. Avec un peu d'habileté, on peut tourner le robinet juste au moment où la potasse arrive au contact de la clef. En tournant de 90 degrés et continuant à abaisser le flacon, on fait monter l'eau de la dernière cloche dans le brûleur, puis dans les capillaires; l'air que cette cloche contenait arrive dans le mesureur, on l'expulse, et le liquide sort par la pointe du mesureur. En fermant le robinet, l'eudiomètre est prêt à fonctionner, puisque tout est plein d'eau.

MANIÈRE D'OPÉRER

Supposons que le gaz mesureur ait été transvasé dans un cylindre terminé par un tube en caoutchouc et serré par une pince de Mohr; ce petit cylindre plonge, d'une part, dans un verre à pied plein d'eau, et est adapté, d'autre part, à la pointe du mesureur, ce qui doit être fait sans qu'il y ait de l'air introduit par le bout du tube en caoutchouc. On tourne alors le robinet de façon à établir la communication entre le tube qui contient le gaz et le mesureur, on appuie sur la pince de Mohr, on abaisse le flacon, le gaz se rend dans le mesureur et on en

prend un volume déterminé. Pour mesurer ce volume, il faut le limiter exactement entre la division zéro qui est en haut du mesureur et l'une des autres divisions; à cet effet, on met en communication le mesureur et la dernière cloche, on abaisse le flacon avec la main, l'eau vient donc s'arrêter à la base du tube capillaire près de la division zéro; on ferme le robinet et on attend, pour faire la lecture, que l'eau qui mouille les parois du verre se soit écoulée; au bout de deux à trois minutes, on soulève légèrement le flacon, de telle sorte que le niveau de l'eau dans le mesureur et dans le flacon se trouve sur une même ligne horizontale; on note alors la division en face de laquelle on se trouve : on a le volume gazeux.

Passage du gaz dans la cloche à potasse. — On peut rechercher tout d'abord si le volume gazeux ne contient pas d'acide carbonique; il faut, pour cela, le faire passer dans la cloche à potasse; à cet effet, on tourne convenablement les robinets, de façon à mettre en relation le mesureur et la cloche à potasse, puis on soulève le flacon : un peu d'eau contenue dans les capillaires tombe dans la potasse; le gaz arrive au contact du réactif, où on le fait aller et venir plusieurs fois; on le ramène ensuite dans le mesureur, en ayant soin de tourner le robinet à trois voies dès que la potasse est en haut de la cloche; en continuant à abaisser le flacon, l'eau du brûleur arrive à son tour dans les capillaires, jusqu'au zéro; on ferme le robinet du mesureur, on attend un peu pour que l'eau s'écoule, puis on fait la lecture comme il a été dit précédemment.

Passage des gaz dans le brûleur. — Pour faire passer les gaz dans le brûleur, il suffit de tourner le robinet du mesureur, de façon à le mettre en communication avec ce tube; le robinet de la cloche à potasse restant fermé, c'est-à-dire ayant sa branche verticale tournée en l'air, on soulève alors le flacon et le gaz arrive sur le fil de platine, puis de là dans la cloche qui suit le brûleur. C'est à ce moment que l'on met les deux tiges en communication avec les éléments Bunsen qui servent à faire rougir le fil. On peut refouler le gaz plusieurs fois, jusqu'à ce que l'on juge que tout soit brûlé. Il vaut mieux que le gaz ait une vitesse faible, il brûle plus facilement: il convient donc de manœuvrer le flacon avec assez de lenteur. On ramène ensuite le gaz dans le mesureur en remplissant d'eau les capillaires, on fait cesser la communication avec les piles et on fait la lecture, comme il a été expliqué précédemment. On peut ensuite faire passer le gaz dans la potasse, puis faire la lecture dans le mesureur.

Il est important qu'au moment du passage des gaz, le courant soit assez énergique pour rougir à blanc le fil de platine.

Passage des gaz dans les doubles flacons à réactifs. — Avant de faire passer les gaz dans le brûleur, il peut arriver qu'on veuille les faire passer dans un autre réactif, le chlorure de cuivre acide ou ammoniacal, qui absorbe tout à la fois l'oxygène et l'oxyde de carbone; à cet effet, tandis que le gaz est refoulé dans la cloche à potasse, que l'eau est montée dans les capillaires, on tourne le robinet du mesureur de façon que le liquide sorte par sa pointe, puis on ferme ce robinet; on enlève la petite cloche qui contenait le gaz à analyser, et on fixe à la pointe du mesureur l'extrémité du tube en caoutchouc

qui est relié à un double flacon plein de réactif, et serré par une pince de Mohr; si on a eu soin de refouler ce réactif jusqu'à l'extrémité, on voit qu'il n'y a pas d'air et que le gaz pourra passer directement dans le premier flacon en appuyant sur la pince de Mohr; à cet effet, il faut ramener le gaz dans le mesureur et le refouler dans le double flacon, puis agiter celui des deux qui contient le gaz et le réactif; quand on juge l'absorption terminée, on ramène le gaz dans le mesureur et on fait la lecture. On peut, sans grand inconvénient, faire arriver le réactif jusqu'à la division zéro, les quelques gouttes qui peuvent tomber dans le mesureur se dissolvent dans l'eau. Quand on veut commencer par le pyrogallate, il faut se munir d'un double flacon analogue et prendre les mêmes précautions pour refouler le gaz, l'agiter en présence du réactif et le ramener dans le mesureur ; le flacon qui ne reçoit pas de gaz est isolé de l'air extérieur par un peu de benzine.

Dans quelques appareils du même genre qui ont servi à doser les gaz, on avait cru devoir mettre ces réactifs dans des cloches faisant suite à la cloche à potasse ; mais comme l'absorption est longue, il fallait attendre souvent une demi-heure, et on n'était pas certain qu'elle fût complète ; en refoulant le gaz dans des doubles flacons, et agitant, l'absorption se fait aussitôt.

EMPLOI DE L'HYDROGÈNE POUR DOSER L'OXYGÈNE

Dès que l'on est familiarisé avec l'appareil, on peut procéder à l'étude des différents cas que l'on rencontre dans la pratique ; quand le mélange ne contient pas d'hydrocarbures, qu'il contient de l'oxygène et de l'acide carbonique, on peut ne pas avoir recours au pyrogallate, mais bien plutôt à la combustion par l'hydrogène ; d'après Bunsen, c'est le procédé le plus exact, et il est facile d'avoir toujours ce gaz à sa disposition ; il suffit de prendre à cet effet une cloche avec une éprouvette terminée à sa partie supérieure par un bout de tube en caoutchouc serré par une pince de Mohr ; en plaçant quelques morceaux de zinc au fond de cette cloche, la remplissant d'eau légèrement acidulée, l'hydrogène se dégagera à la partie supérieure, refoulera l'eau dans l'éprouvette ; en adaptant cette cloche à la pointe du mesureur, avec les précautions que l'on a prises dans le cas des doubles flacons, on pourra prendre un volume d'hydrogène qui permettra de brûler tout l'oxygène. La diminution de volume indiquera la vapeur d'eau formée, et le tiers du volume disparu sera l'oxygène. Si l'on craint une détonation, on prend de l'hydrogène en excès pour l'éviter.

ERREURS QUE L'ON PEUT COMMETTRE

Quand on a opéré avec cet appareil et que l'on s'est assuré que les caoutchoucs serrent bien, que les robinets ne fuient pas, on peut se demander quelles sont les erreurs que l'on peut commettre ; ce sont : 1° les erreurs de lecture ; 2° les erreurs par suite de l'échange des gaz en présence de l'eau. Les premières sont inhérentes à tous les appareils ; les secondes peuvent être atténuées consi-

dérablement si l'analyse ne dure qu'un temps limité, car en opérant comparativement sous le mercure et sous l'eau, je n'ai trouvé que des différences variant entre deux ou trois des subdivisions du tube gradué ; on devra éviter de laisser sous l'eau pendant une demi-heure ou une heure les gaz que l'on veut analyser : leur composition, pendant ce temps, pourrait changer notablement.

MOYEN DE PRENDRE LES GAZ

Les méthodes pour reconnaître les gaz ont été indiquées par différents auteurs, notamment par Bunsen. M. Coquillion a recueilli d'une manière très simple, les gaz provenant des foyers industriels ou ceux qui sont produits par la combustion incomplète des matières organiques, comme, par exemple, la fumée de tabac.

Dans les foyers industriels, lorsqu'il s'agit de prendre des gaz refroidis ou légèrement chauds, on peut plonger dans le mélange gazeux un tube en porcelaine ou en verre ; mais quand il s'agit de gaz très chauds, il faut avoir recours à un tube en cuivre autour duquel circule un courant d'eau froide ; au tube plongé dans le mélange on adapte, par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc, une petite pompe aspirante et foulante, également en caoutchouc et qui a la forme d'une poire ; elle est reliée, d'autre part, à un tube en verre dont l'extrémité plonge dans un vase plein d'eau. En pressant avec la main sur la poire, on aspire les gaz dans le tube du foyer et on les refoule dans le tube en verre. Après une ou deux minutes de cette manœuvre, lorsqu'on a purgé l'appareil de l'air qu'il contenait et qu'on est certain que ce sont les gaz du foyer qu'on aspire et qu'on refoule, on détache le petit tube mobile en serrant le caoutchouc qui le termine avec une pince, on le transporte, avec le verre à pied, auprès de l'appareil et on l'adapte à la pointe du mesureur.

Si l'on veut recueillir de la fumée de tabac pour l'analyser, on peut opérer de même, fixer le cigare allumé à un tube en caoutchouc qui se raccorde à la pompe aspirante, et adapter à l'autre bout un tube en verre qui plonge dans l'eau. On n'a qu'à détacher ce tube et à l'adapter à l'appareil, lorsqu'il est plein de fumée.

Nous examinerons quelques-uns des cas qui se présentent habituellement dans la pratique.

CAS USUELS

Analyse de l'air. — Gaz des cheminées industrielles.

$$Az — CC^2 — O.$$

C'est le cas de l'analyse de l'air, mais la petite quantité de CO^2 n'est pas appréciable ; quant à l'oxygène, on peut le doser avec le brûleur en prenant un

grand excès d'hydrogène pour éviter la détonation. C'est aussi le cas de presque toutes les cheminées industrielles qui, tout en laissant échapper des particules solides, brûlent avec un grand excès d'air; on trouve des proportions de CO^2 variant de 5 à 12 pour 100 et des proportions d'oxygène sensiblement inverses de 12 à 5 suivant les cas. L'azote est calculé par différence.

Cas des gazogènes alimentés au coke. — Soit maintenant le cas de:

$$Az - CO^2 - CO - H,$$

qui se présente dans le cas des gazogènes alimentés au coke. On peut opérer ce dosage par les absorbants et brûler l'hydrogène en dernier lieu; mais on peut tout aussi bien trouver CO et H par combustion. Après avoir absorbé CO^2 par KO, on ajoute de l'air en proportion suffisante pour opérer la combustion, on observe la contraction c qui en résulte, puis la contraction c' après le passage dans la potasse; si on pose:

$$x = CO, \; y = H,$$

on a:

$$x + 2y = c$$
$$x = c'$$

qui permettent de calculer CO et H.

Dans une deuxième expérience on peut absorber CO par le chlorure cuivreux, ce qui donnera une vérification. L'azote est obtenu par différence.

Cas des foyers qui brûlent incomplètement. — Les foyers qui brûlent incomplètement renferment généralement:

$$Az, CO^2, CO, O, H.$$

On se débarrasse de CO^2 par la potasse, et, s'il n'y a pas assez d'oxygène pour brûler CO et H, on prend de l'air, on observe la contraction après la combustion et après la potasse.

L'absorption par la potasse donne CO^2, dont le volume égale celui de CO. La contraction de ce dernier volume par combustion a été moitié de celle de CO^2; la contraction restante représente l'eau formée, d'où on déduit l'hydrogène. On connaîtra l'oxygène si on détermine par une nouvelle combustion celui qui reste. L'azote s'obtiendra par différence. L'acide carbonique varie de 9 à 12 ou 13 pour 100, l'oxygène de 10 à 6, l'oxyde de carbone de 1 à 2, et l'hydrogène, lorsqu'il existe, n'excède guère 1/2 à 1 pour 100. La proportion des gaz dépend, du reste, du moment où la charge a été faite.

Cas des gazogènes alimentés par la houille. — Dans le cas des gazogènes alimentés par la houille, on trouve généralement:

$$Az, CO^2, CO, C^2H^4, H$$

et, de plus, des traces de bicarbure d'hydrogène, de benzine, d'acétylène, etc.

Dans ce cas, après avoir absorbé CO^2, puis CO, on prend un excès d'air tel que son oxygène puisse brûler les deux autres gaz et qu'il n'y ait pas détonation, et on observe : 1° la contraction c après le passage sur le fil de platine ; 2° la contraction c' après le passage dans la potasse ; si on pose :

$$C^2H^4 = y, H = z$$

on a les deux équations à deux inconnues :

$$2y + 2z = c$$
$$y = c'$$

qui permettent de calculer y et z.

En général, les proportions de CO^2 varient de 3 à 6 ; celles de CO, de 20 à 25 ; celles de C^2H^4, de 4 à 2,2 ; celles d'hydrogène, de 10 à 5, et Az, de 56 à 61.

Il est bon d'observer que beaucoup de ces analyses peuvent être réalisées par combustion sans avoir recours à d'autres absorbants que la potasse ; le chlorure de cuivre et le pyrogallate pourront être employés comme contrôle, ainsi que dans les cas plus complexes où l'on a six gaz, par exemple :

$$Az, CO^2, CO.O, C^2H^4, H.$$

On commencera par absorber CO^2, puis O par le pyrogallate, et on retombera dans le cas précédent.

DESCRIPTION DE L'EUDIOMÈTRE A FIL DE PLATINE

POUR OPÉRER SOUS LE MERCURE

Au lieu d'opérer sous l'eau, on peut se proposer d'opérer sous le mercure avec toute la précision des meilleurs appareils. Dans ce but, M. Coquillion fait quelques modifications à l'appareil précédent ; il importe de les décrire.

Le mesureur (fig. 194), dont la capacité est de 40 à 50 centimètres cubes seulement divisés en dixièmes, est soudé directement à la petite cloche renversée qui forme le brûleur ; il est entouré d'un manchon rempli d'eau, avec un thermomètre pour indiquer les variations de température. Le brûleur C est fermé par un bouchon à trois trous ; dans deux de ces trous passent les tiges destinées à serrer le fil de platine et qui doivent se trouver sous le mercure ; leur extrémité ainsi que les vis sont en platine ; de plus, comme ces tiges doivent être isolées du mercure, elles portent une gaine en ivoire ou en verre qui s'avance

tout près de l'extrémité où est fixé le fil de platine; quant à l'extrémité de la cloche qui s'engage dans le troisième trou, son niveau doit se trouver un peu au-dessous de la partie métallique des tiges; le fil ne rougit que lorsque le mercure cesse d'être en contact avec le platine pour être en contact avec la gaine de verre. La cloche D, qui passe par le troisième trou du bouchon, repose sur un petit cristallisoir où le mercure monte et descend.

Au lieu d'être relié à un flacon, le mesureur est rattaché par un caoutchouc très épais, à un tube qui se meut de bas en haut ou inversement le long d'un support mobile, ou bien à la main, si l'on veut.

A la pointe du mesureur peut se fixer un entonnoir ou une cloche soudée à angle droit, qui plonge d'une part dans la cuve à mercure en porcelaine et qui, d'autre part, est reliée par un caoutchouc à la pointe du mesureur; elle peut

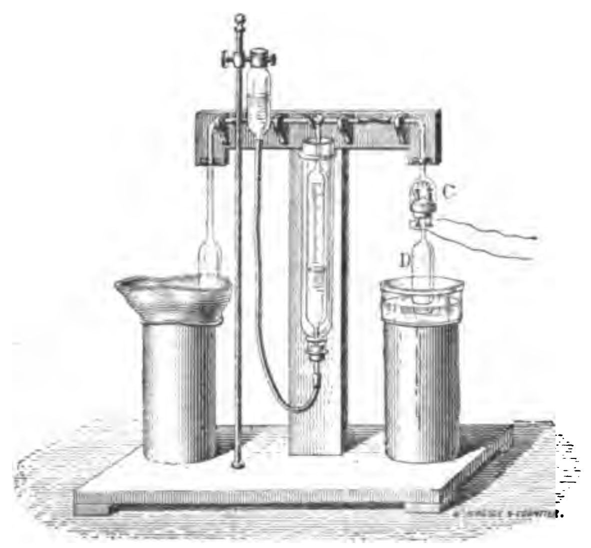


Fig. 191.

aussi être soudée au mesureur. Toutes ces pièces sont fixées sur un cadre vertical reposant sur un pied.

MISE EN MARCHE DE L'APPAREIL

Pour que l'appareil soit prêt à fonctionner, il faut que le brûleur, les capillaires et les cloches soient remplis de mercure; on verse à cet effet du mercure dans le tube élévateur, puis on tourne le robinet pour mettre en communication le mesureur et le brûleur; en abaissant le tube élévateur, le mercure monte dans le brûleur et vient bientôt se déverser dans le mesureur; on refoule l'air sous la cloche de devant jusqu'à ce que le mercure se déverse par la pointe. Pour enlever l'air de cette cloche, on prend une pipette courbe dont la pointe remonte jusqu'au sommet et on aspire.

Dans ces conditions, le mercure remplissant l'appareil doit rester stationnaire si le robinet est bien rodé ; s'il y a des fuites, on le voit descendre dans le tube capillaire du mesureur.

MANIÈRE D'OPÉRER

Pour analyser les gaz, on devra tout d'abord les transvaser sous le mercure dans de petites éprouvettes, que l'on portera sur la cuve en porcelaine ; le gaz alors sera transvasé sous la petite cloche ; on ne prendra que la portion qui doit être analysée, l'excédent sera retiré au moyen de la pipette. Le gaz transvasé, on le mesure, en le faisant passer dans le tube gradué et ramenant le mercure jusqu'à la naissance du tube capillaire, au zéro ; on établit le niveau du mercure dans le tube élévateur sur la même ligne horizontale que dans le mesureur ; on vise avec une lunette la division correspondante, ce qui donne le volume gazeux. On refoule ensuite le gaz sous la cloche qui repose sur la cuve à mercure ; on y introduit avec un fil de platine une balle de potasse, pour absorber l'acide carbonique ; on mesure de nouveau le gaz, et on peut, en faisant tourner le robinet, le faire passer à volonté sur le brûleur, ou le ramener sous la petite cloche de la cuve à mercure et y faire passer une balle de papier mâché, imprégnée soit de pyrogallate, soit de chlorure cuivreux, selon les cas que l'on aura à analyser.

Les gaz devront se trouver dans des proportions telles qu'ils ne donnent pas lieu à un mélange détonant lorsqu'il s'agira de les brûler ; il sera facile aussi de doser l'oxygène par sa combustion avec l'hydrogène.

Les balles à réactif peuvent être préparées, comme le recommande Bunsen, avec du papier mâché, formé de papier buvard qu'on presse dans un moule à balle en fer autour d'un fil de platine et qu'on sèche à 100 degrés. Mais comme ces balles sont encore longues à préparer, qu'on introduit un peu d'air avec elles, on peut tout aussi bien introduire le réactif sous forme liquide avec une petite pipette courbe ; l'absorption est facilitée par les mouvements de va-et-vient du gaz. Lorsque, ensuite, on la juge complète, on fait passer en partie le gaz dans le mesureur ; on s'arrête lorsque le réactif arrive à la partie supérieure de la cloche. A ce moment, on ferme le robinet et on aspire le réactif avec une pipette ; puis on ramène le gaz dans le mesureur, et on fait la lecture.

Pour faire une seconde analyse, il sera bon d'essuyer la cloche avec du papier buvard ou d'y faire passer un peu d'eau pour la laver.

Ce même appareil peut servir sous l'eau si l'on enlève la petite cloche qui repose sur la cuve à mercure ; on pourra introduire par la pointe du mesureur des doubles flacons à réactifs : il en faudra un contenant de la potasse, puisqu'ici l'on n'a pas de cloche.

On pourra considérer les différents cas que nous avons examinés précédemment et opérer comme on l'a indiqué.

ÉTUDE SUR LA DÉCOMPOSITION DES COMPOSÉS CARBONÉS

EN PRÉSENCE DU FIL DE PLATINE PORTÉ AU ROUGE ET DE LA VAPEUR D'EAU

L'eudiomètre à fil de platine peut non seulement servir à doser les gaz, mais encore à étudier leur action les uns sur les autres à la température rouge. J'indiquerai succinctement les résultats que M. Coquillion a obtenus en opérant sous l'eau avec l'oxyde de carbone, l'hydrogène protocarboné et bicarboné.

OXYDE DE CARBONE

Lorsqu'on fait passer lentement sur un fil de platine porté au rouge de l'oxyde de carbone en présence de la vapeur d'eau, on voit le volume gazeux augmenter peu à peu, puis devenir sensiblement stationnaire. En observant le fil de platine et les parois du verre qui l'entoure, on remarque des dépôts noirs qui deviennent très visibles à mesure que l'on continue à faire passer de nouvelles quantités de gaz sur le fil de platine ; ces dépôts sont évidemment dus à la dissociation de l'oxyde de carbone qui se produit en présence de la vapeur d'eau ; pour savoir si l'eau elle-même n'est pas décomposée, il suffit d'analyser le volume gazeux : on trouve qu'il est formé d'acide carbonique, d'oxyde de carbone et d'hydrogène ; ce dernier gaz n'a pu être évidemment fourni que par les éléments de l'eau. C'est ainsi, pour fixer les idées, que 90,9 de CO deviennent 100 volumes qui contiennent (1) :

$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 10{,}52 \\ CO = 69{,}4 \\ H = 20 \end{array}\right\} 99{,}9$$

La proportion d'hydrogène est tout près du double de la proportion de CO^2, lorsque l'équilibre s'établit.

On peut facilement, en faisant un certain nombre d'expériences, construire

(1) Pour obtenir cette augmentation de volume, il faut un temps variable qui dépend de la grosseur du fil, de son incandescence ; ce n'est souvent qu'au bout d'une heure que le volume cesse d'augmenter, puis reste sensiblement stationnaire.

Ces résultats ont été obtenus en opérant sous l'eau, les échanges gazeux donnent des résultats un peu erronés, parce que l'opération est longue ; mais quand on opère sous le mercure, on trouve plus exactement la limite à la décomposition ; il n'y a pas de dépôt de carbone en prenant soin d'éviter l'échauffement des parois du verre ou des tiges ; les résultats obtenus à la limite de décomposition sont, pour CO = 27, qui devient sur le platine porté au rouge, et sous l'hydrogène humide

$$\left.\begin{array}{l} CO^2 = 5 \\ CO = 22 \\ H = 5 \end{array}\right\} 32$$

De cette façon on retrouve tout le carbone et tout l'oxygène de CO primitif, ce qui n'a pas lieu avec les chiffres de l'analyse faite sous l'eau.

les courbes figuratives des réactions, et l'on trouve que, pour une température déterminée du fil de platine, il se prdouit entre les gaz un état d'équilibre, car la transformation de l'oxyde de carbone en acide carbonique est limitée par la réaction inverse de la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone en présence de l'hydrogène. Pour s'assurer de cette dernière réaction, il suffit de prendre des volumes déterminés d'acide carbonique et d'hydrogène et de les faire passer ensemble sur le fil de platine ; le volume diminue rapidement et on retrouve dans le mélange de l'oxyde de carbone ; une partie des gaz primitifs a disparu.

Ces réactions nous indiquent comment il se fait que, dans les gazogènes alimentés par du coke, où la vapeur d'eau est projetée en abondance sous la grille, il se trouve souvent des quantités considérables d'hydrogène en même temps que de l'acide carbonique ; de plus, les gaz, en passant dans les chambres chauffées appelées récupérateurs, contiennent, au moment de la combustion, bien plus d'acide carbonique comme aussi d'hydrogène, mais moins d'oxyde de carbone.

Décomposition de C^2H^4. — Quand on fait passer de l'hydrogène protocarboné sur le fil de platine en présence de la vapeur d'eau, le volume augmente rapidement et l'équilibre s'établit lorsque le volume des gaz est devenu sensiblement quadruple du volume primitif. Si l'on analyse le mélange gazeux, on trouve que tout le gaz primitif C^2H^4 a sensiblement disparu et qu'il ne reste plus que de l'hydrogène, de l'oxyde de carbone et de l'acide carbonique (1).

Ces deux derniers sont en faibles proportions par rapport à l'hydrogène ; en effet, 10 volumes de gaz C^2H^4 deviennent, lorsque l'équilibre s'établit, 40 vol., 5, qui sont composés de :

$$\begin{aligned} CO^2 &= 1,5 \\ CO &= 5,05 \\ H &= 33 \\ \hline & 39,55 \end{aligned}$$

avec une erreur de 0,9 environ.

Il est facile encore, par une série d'expériences, de représenter par des courbes les réactions qui se produisent (2).

(1) Il vaut mieux, pour réussir cette expérience, donner au brûleur la forme d'un dé à coudre avec deux petits tubes soudés latéralement et le disposer horizontalement avec un peu d'eau dans le fond, de façon à avoir un grand excès de vapeur d'eau.

(2) En faisant passer C^2H^4 sur le platine, en présence du mercure humide, la décomposition est limitée lorsque le volume est sensiblement quadruple :

11,2 de C^2H^4 deviennent 44,5, composés de :

$$\begin{aligned} CO^2 &= 2,5 \\ CO &= 8,5 \\ H &= 34,3 \\ \hline & 45,3 \quad \text{erreur } 0,2 \end{aligned}$$

En opérant sous le mercure, M. Coquillion s'est servi de son mesureur, comme machine pneu-

Décomposition de C^4H^4. — Quand on fait passer le gaz C^4H^4 sur le fil de platine chauffé au rouge, on voit le volume gazeux augmenter progressivement, mais beaucoup moins que dans le cas de C^2H^4; on observe en même temps un dépôt abondant de carbone, soit sur le fil, soit sur les parois du verre; pour s'assurer s'il y a formation de CO^2, on fait passer le volume gazeux dans la potasse et on observe une diminution de volume; c'est l'eau qui a fourni l'oxygène pour former ce gaz; si l'on fait passer ensuite le mélange sur le chlorure de cuivre ammoniacal, il se forme un précipité rouge brique très abondant qui indique la présence de l'acétylène; de plus, en examinant le brûleur, on sent une odeur de benzine et de goudron qui indique que la réaction a été complexe. Ces expériences rentrent dans celles qui ont été étudiées par M. Berthelot, qui a montré qu'en chauffant le gaz C^4H^4 on obtient C^4H^2, $C^{12}H^6$ et d'autres produits plus condensés.

On comprend que ces décompositions, accompagnées de dissociations, doivent jouer un rôle dans les réactions qui se passent dans les récupérateurs des gazogènes (1).

En résumé, on voit comment l'eudiomètre à fil de platine peut servir, d'une part, à analyser les gaz, d'autre part, à montrer les phénomènes de dissociation, ainsi que les réactions qui peuvent intervenir aux températures élevées.

On peut encore faire ces analyses des gaz sur la cuve à mercure dans les laboratoires. A l'aide d'un tube en cuivre, tube de petit diamètre et de 1m,50 de long, à l'extrémité supérieure duquel on place une poire en caoutchouc munie d'un robinet, on prend les gaz d'un générateur, ou sur la conduite, ou le clapet par lesquels les gaz arrivent au four.

A l'aide de pressions successives exercées sur la poire de caoutchouc, on la remplit du gaz à analyser. On ferme le robinet et on procède ensuite sur la cuve à mercure au mesurage de certaines quantités de ce gaz dans deux tubes gradués. Dans l'un de ces tubes A on ajoute quelques centimètres cubes d'eau distillée, puis de la potasse; après agitations répétées on observera une diminution de volume représentant la proportion d'acide carbonique contenu dans ce gaz. Dans ce même tube on ajoute une pastille d'acide pyrogallique fondu, s'il y a diminution de volume on aura ainsi la proportion d'oxygène.

Dans un second tube B, on ajoute, après constatation du volume primitif, un peu d'ammoniaque liquide et de protochlorure de cuivre. On absorbe ainsi l'acide carbonique, l'oxygène, l'*oxyde de carbone*. Connaissant déjà, par l'expérience précédente, les quantités d'acide carbonique et d'oxygène contenues dans ce gaz, par différence on obtient la quantité d'oxyde de carbone.

Dans ce tube B, il reste donc un gaz privé des éléments précédemment absorbés, c'est-à-dire contenant encore de l'hydrogène protocarboné et de l'azote.

On prend 25 à 30 centimètres cubes de ce gaz (tube C), on y ajoute 15 à

matique, comme pompe foulante, comme appareil pour la démonstration de la loi de Mariotte; cet appareil a été principalement employé jusqu'ici pour la détermination du grisou dans les mines, d'où son nom de grisoumètre.

(3) C'ést ainsi que, dans le système des fours Ponsard, des dépôts abondants de carbone se produisent dans les chambres de passage des gaz combustibles.

20 centimètres cubes d'oxygène, puis 10 à 12 centimètres cubes d'hydrogène, on introduit ce mélange dans l'eudiomètre et on le soumet à l'étincelle électrique.

On mesure de nouveau le volume des gaz, on introduit à leur contact un peu de potasse qui absorbera l'acide carbonique représentant l'hydrogène protocarboné ainsi transformé. Le résidu de cette opération représentera l'azote contenu dans le gaz primitif.

APPAREIL COQUILLION POUR L'ANALYSE COMPLÈTE DES GAZ DE GAZOGÈNE ET DES GAZ BRULÉS DE FOYERS INDUSTRIELS.

M. Coquillion a apporté au grisoumètre dont nous venons de parler des modifications qui en font un des meilleurs appareils qui puissent être utilisés dans l'industrie pour l'analyse des gaz. Cet appareil a beaucoup d'analogie avec l'analyseur Orsat, mais il présente sur ce dernier l'avantage de permettre d'effectuer rapidement et de façon sensiblement exacte le dosage des hydrocarbures; en outre on évite — en ramenant le gaz dans le mesureur avant chaque lecture — l'inconvénient et les erreurs résultant des tubes capillaires.

L'appareil (fig. 195) se compose d'un tube mesureur M divisé en 100 parties égales, mais dont la partie inférieure, d'un diamètre plus étroit, est graduée en dixièmes. Ce mesureur est entouré d'un manchon plein d'eau pour maintenir la température constante. Il est relié à la partie inférieure à un flacon élévateur contenant de l'eau; à la partie supérieure avec un tube capillaire horizontal formant la rampe R et à un petit tube recourbé *t* d'introduction du gaz. La rampe est en relation avec trois flacons à réactifs P′CP (P′ renfermant une solution de potasse, P contenant du pyrogallate de potasse, C contenant du chlorure de cuivre), avec le brûleur B se continuant par la cloche C′, et enfin à son extrémité avec une cloche E surmontée d'un réservoir à brome. Cette cloche E est destinée spécialement au dosage des carbures de la série $C^{2n}H^{2n}$, et elle peut facilement être séparée du reste de l'appareil dans le cas où on n'a pas à effectuer le dosage de ces divers carbures.

Le brûleur B consiste en une petite cloche élargie à son sommet et fermée par un bouchon muni de trois trous. Dans deux de ces trous passent des tiges verticales en laiton servant à fixer à l'intérieur du brûleur un fil de palladium qui sera porté au rouge par le courant de deux piles Bunsen. Le troisième trou du bouchon en caoutchouc porte une cloche C′ plongeant dans une éprouvette remplie d'eau.

Supposons qu'on veuille faire l'analyse d'un gaz renfermant CO^2—O—CO—C^2H^4, C^4H^4—Az—H.

On opère d'abord à l'aide des cloches C′CP le dosage de CO^2—O—CO. Le gaz est ensuite chassé dans la cloche E, où l'on introduit quelques gouttes de brome; de là le gaz est ramené dans le mesureur après avoir été dépouillé des vapeurs de brome dans le flacon à potasse.

La diminution de volume représente C^4H^4 et homologues.

Le dosage de C^2H^4 et H s'effectue en faisant circuler le gaz additionné au

préalable d'une quantité déterminée d'oxygène dans le brûleur B dont le fil de palladium est porté au rouge. On détermine après la combustion le volume du CO^2 formé, d'où on déduit la teneur du C^2H^4. D'après la contraction observée après combustion on connaît l'hydrogène, et enfin après absorption de l'excès d'oxygène on mesure directement l'azote. Ce dosage direct de l'azote est en même temps un contrôle du dosage de l'hydrogène.

On ne doit faire aucune lecture avant d'avoir, au moyen de la cloche C', fait passer un courant d'eau dans la rampe R, ce qui ramène la totalité du gaz dans le mesureur. Cette possibilité de faire des mesures exactes rend très précieux

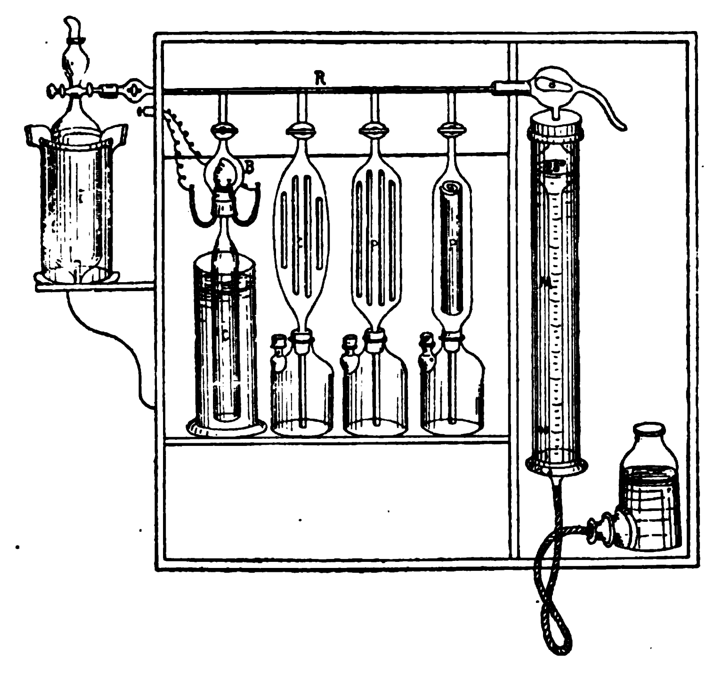


Fig. 193.

l'usage de l'appareil Coquillion, dont le seul inconvénient, partagé par tous les instruments du même genre, est de ne pas donner de certitude absolue quant au dosage du CO^2. On peut atténuer cet inconvénient en faisant usage d'eau tenant en dissolution du chlorure de sodium.

ANALYSE DES PRODUITS DE LA COMBUSTION AU MOYEN DE LA BALANCE MESLANS ET FRÈRE.

L'analyse des produits qui s'échappent des foyers industriels présente un intérêt considérable. C'est un complément nécessaire de l'examen des combustibles solides ou gazeux. Il n'est pas suffisant en effet de produire de bon ga,z il faut encore savoir en tirer un bon parti, le bien brûler. On n'y arrivera qu'en

multipliant les analyses; mais le plus souvent on recule devant la délicatesse et la longueur de ces analyses, et il semble qu'on n'ait pas conscience que le résultat de cette négligence peut être parfois désastreux.

Pour ne citer qu'un cas, le plus fréquent certainement et celui dans lequel l'analyse des produits gazeux est le plus utile, nous rappellerons les pertes considérables de combustible qui résultent du défaut de réglage de la combustion dans les foyers de générateurs de vapeur, des fours, etc. Faute d'analyser les produits gazeux de cette combustion, on laisse pénétrer dans les foyers beaucoup plus d'air qu'il ne serait strictement nécessaire, et une quantité correspondante de combustible est ainsi perdue, employée à chauffer une masse d'air inutile, depuis la température ordinaire jusqu'à celle que possèdent les gaz à leur entrée dans la cheminée. Cette quantité, qui, dans une bonne combustion pratique, ne doit pas dépasser 10 à 14 pour 100, atteint généralement 30 à 40 pour 100 de l'énergie calorifique.

Dans nombre d'essais, nous l'avons vu représenter jusqu'à 50 et même 60 centièmes du combustible consommé.

En présence de ces faits, nous insisterons sur la nécessité de procéder à de fréquentes analyses des gaz brûlés.

L'appareil Coquillion, que nous avons décrit plus haut, rendra à cet effet de très grands services; on peut d'ailleurs, dans ces cas particuliers des gaz brûlés, faire usage d'appareils plus simples, puisqu'il suffit de doser l'acide carbonique et l'oxygène.

On sait qu'il est même suffisant de faire la détermination exacte de l'un de ces deux gaz pour que la composition du gaz brûlé soit connue de façon très approchée.

Les gaz brûlés ne peuvent en effet contenir, outre une quantité de vapeur d'eau plus ou moins considérable, que de l'oxygène, de l'acide carbonique et de l'azote, ce dernier gaz existant dans les produits de combustion en proportion à très peu près équivalente à celle dans laquelle il se trouve dans l'air.

Comme la teneur en hydrogène d'un combustible donné, solide, liquide ou gazeux, ne peut varier que dans des limites étroites, il s'ensuit que les produits brûlés résultant de la combustion, sans excès d'air, auront une composition sensiblement constante et par suite une densité également constante, densité qui est notablement supérieure à celle de l'air.

Si donc à ce gaz brûlé théorique il se trouve mélangé de l'air, on observera une diminution de densité d'autant plus considérable qu'il entrera plus d'air en excès.

S'appuyant sur ces faits, MM. Meslans et Frère ont imaginé un appareil qui permet de déterminer la composition des mélanges gazeux simples par la détermination de la densité, remplaçant ainsi par une simple pesée les manipulations toujours délicates de l'analyse chimique.

Cette méthode repose sur l'application du principe d'Archimède aux gaz. Nous la décrirons ci-dessous.

Détermination de la densité des gaz appliqués à l'analyse des produits de la combustion. — Si l'on considère un ballon suspendu sous le plateau d'une

balance et équilibré dans l'air sec, la perte de poids qu'il éprouve par la poussée de l'air est :

$$p = \frac{0{,}001293\,\mathrm{VH}}{(1+\alpha t)\,760}$$

Si on vient à le plonger dans un gaz sec de densité d, la nouvelle perte de poids est :

$$p' = \frac{0{,}001293\,\mathrm{VH'}}{(1+\alpha t)\,760} \times d.$$

L'équilibre est rompu et, pour le rétablir, il faut mettre dans un des plateaux un poids $\mathrm{P} = p' - p$.

On obtient pour d une expression très simple si $\mathrm{H} = \mathrm{H'}$ et $t = t'$. On a alors :

$$\mathrm{P} = \frac{0{,}001293\,\mathrm{VH}}{(1+\alpha t)\,760}(d-1).$$

Avec un seul ballon il est impossible de réaliser ces conditions, et la plus légère variation de t ou H conduit à des erreurs considérables, plus grandes que P, si la densité est trop voisine de celle de l'air.

MM. Meslans et Frère ont tourné cette difficulté en employant deux ballons

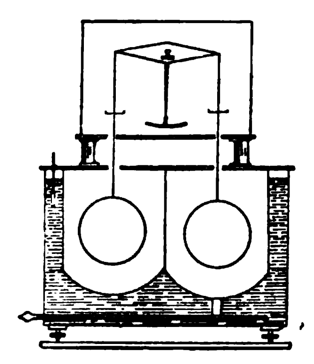


Fig. 196.

identiques (fig. 196) suspendus aux deux plateaux d'une balance. Équilibrés dans l'air, ces ballons sont ensuite enfermés, comme l'indique la figure, dans deux boîtes métalliques plongées elles-mêmes dans un bain d'eau commun qui assure l'égalité de température des deux caisses; le couvercle ne laisse passer que les fils de suspension. L'une de ces caisses renferme de l'air; l'autre porte à la partie inférieure un long tube de cuivre, bourré de tournure de même métal et immergé dans l'eau de la caisse externe; ce tube, qui vient déboucher au dehors, sert à l'introduction du gaz à étudier, qui prend ainsi la température du bain.

L'égalité de température de l'air et du gaz est donc assurée; ils sont tous deux soumis à la même pression, celle de l'atmosphère.

La formule (A) est donc applicable et la valeur de d est :

$$d = 1 + \mathrm{P}\frac{(1+\alpha t)\,760}{0{,}001293\,\mathrm{VH}} \qquad \frac{760}{0{,}001293\,\mathrm{V}} = \mathrm{K}$$

est la constante de l'instrument. Elle est déterminée une fois pour toutes, et l'expression de la densité devient :

$$d = 1 + PK]\frac{1 + \alpha t}{H}.$$

On conçoit qu'il est aisé d'établir une table à deux entrées donnant les valeurs de K pour les diverses valeurs de t et H ; la détermination se réduit donc à une simple pesée afin de connaître P.

Détermination. — L'appareil ayant été réglé dans l'air une fois pour toutes, on y fait pénétrer le gaz à étudier, comme il vient d'être dit, rapidement d'abord pour chasser l'air, puis en maintenant ensuite un courant lent. — Lorsqu'on veut déterminer la densité du gaz, il suffit de rétablir l'équilibre rompu et de noter le poids P ainsi employé : un thermomètre plongé dans l'eau de la caisse en fournit la température t; on lit la pression barométrique H au moment où l'on opère, et on recherche sur la table la valeur K' correspondante. La densité est donnée immédiatement par le calcul simple.

$$d = 1 + PK'.$$

Il est facile de renouveler fréquemment cette détermination à divers moments d'une fabrication (si l'on a eu soin de maintenir le courant de gaz dans l'appareil) et de suivre ainsi la marche d'une réaction par les modifications qu'éprouve la composition des gaz qui l'accompagnent.

On peut d'ailleurs donner plus de rapidité aux pesées en employant un dispositif de balance analogue à celui de M. Serrin.

Une chaînette métallique est fixée d'une part sur le fléau, et d'autre part sur un tambour gradué où elle s'enroule, produisant ainsi un poids variable suivant la longueur déployée.

Les ballons sont en verre ou bien en cuivre doré ; leur capacité est d'environ un litre ; bien que la forme cylindrique permît de réduire davantage le volume des caisses et par conséquent celui du gaz, MM. Meslans et Frère ont adopté la forme sphérique, qui permet d'obtenir, pour un même volume, un minimum de poids et offre aussi une plus grande facilité au point de vue de la construction. L'identité des ballons est obtenue sans difficulté à moins de 1/10.000 près et pourrait être poussée plus loin. Les résultats que peut fournir cette méthode pour la densité des gaz sont susceptibles d'une assez grande précision. Nous n'entrerons pas ici dans le détail des applications auxquelles elle peut se prêter : dosage de l'acide carbonique, de l'hydrogène sulfuré, du chlore, de l'acide sulfureux, etc. ; détermination de la densité du gaz d'éclairage, etc.

Nous voulons étudier surtout ici un cas tout particulièrement intéressant, celui de la combustion, et montrer l'application qu'on peut faire de la méthode que nous venons de décrire, à l'analyse des gaz qui en résultent et par conséquent au réglage de l'air dans les foyers. Les produits gazeux de la combustion renferment en proportions variables, suivant les conditions plus ou moins

bonnes dans lesquelles celle-ci s'est effectuée, de l'acide carbonique, de l'azote et de l'oxygène. Malgré la complexité de ce mélange, la détermination de la densité permet d'y doser avec exactitude chacun de ces éléments.

Prenons le cas le plus général, celui de la combustion de la houille, et considérons une houille de composition moyenne renfermant :

Carbone = 85 pour 100.

Hydrogène (en excès sur H) $= \frac{0}{8} = 4$ pour 100.

Un kilogramme de cette houille contiendra donc 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène. Supposons le carbone réduit, ainsi que l'hydrogène, à l'état gazeux. Les poids du litre de ces gaz à 0 degré et sous 760 millimètres de pression sont :

Pour C. 1gr,071
Pour H 0gr,089

D'après cela, 1 kilogramme de houille fournira donc :

Vapeur de C . . . . . 800 litres.
Hydrogène . . . . . . 450 —

La combustion du carbone et de l'hydrogène par l'oxygène étant régie par les deux formules :

$$\underset{1.\text{vol.}\ 2\,\text{vol.}\ \ 2.\text{vol.}}{C + 2O = CO^2} \qquad \underset{2\,\text{vol}\ \ 1.\text{vol.}\ \ 2\,\text{vol.}}{H^2 + O = H^2O}$$

pour brûler 1 kilogramme de cette houille, il faudra donc théoriquement :

Pour 800 litres de carbone	1.600 litres d'oxygène	ou	8.000 litres d'air.
— 450 — de H	225 —	—	1.125 —.

soit, à très peu de chose près, sept fois moins d'oxygène (7,11) pour brûler l'hydrogène que pour brûler le carbone.

Nous pouvons calculer, au moyen de ces données, la composition du produit normal de combustion de la houille moyenne par l'air. Celui-ci étant composé de vingt et un volumes d'oxygène et soixante-dix-neuf volumes d'azote, nous aurons :

$$\underbrace{21 \text{ vol. } Co^2 + 79 \text{ vol. Az}}_{\text{Provenant de la combustion de carbone.}} \quad + \quad \underbrace{\frac{79}{7.11} \text{ vol. Az}}_{\text{Résidu de la combustion de H.}}$$

La densité d'un pareil mélange est donc :

$$\frac{21 \times 1,526 + 90 \times 0,97}{111} = 1,075.$$

La proportion de CO^2 renfermée dans ce produit normal est :

$$100 \times \frac{21}{111} = 18,9 \text{ pour } 100.$$

Quand la combustion de la houille est parfaite, théorique, les gaz renfer-

ment donc 18,9 pour 100 d'acide carbonique, le reste du mélange gazeux ou 81,1 pour 100 étant constitué tout entier par de l'azote. La densité de ce gaz, que nous pourrions désigner sous le nom de produit normal de la combustion, est égale à 1,075. Si donc on laisse pénétrer une quantité d'air supérieure à celle qu'exige cette combustion idéale (un peu plus de 9^{mc} par kilogramme), cet excès d'air traversera le foyer sans changer de composition, enlevant seulement une certaine quantité de chaleur, et se retrouvera mélangé au produit normal de la combustion.

La densité des gaz variera donc avec le volume de cet excès d'air et permettra de l'évaluer, faisant connaître ainsi les proportions d'acide carbonique, d'azote et d'air renfermées dans le mélange.

MM. Meslans et Frère ont dès lors modifié leur premier appareil, de façon è éviter même la pesée et à le transformer en un appareil automatique, indiquant d'une façon continue, par la position d'une aiguille sur un cadran, la proportion d'acide carbonique renfermée dans le mélange gazeux qui le traverse lentement.

Par là même, on connaît celle de l'azote et la quantité d'air admise dans le foyer, en excès sur celui que comporte la combustion théorique. Nous n'entrerons pas dans les détails de cet appareil, dans lequel la dessiccation du gaz peut être supprimée sans qu'il en résulte d'erreur notable.

L'appareil est gradué en centièmes d'acide carbonique.

De la formule que nous avons établie, nous tirons :

$$P = (D - 1)\frac{1}{K}.$$

Les poids P sont proportionnels à (D — 1), proportionnels donc à la quantité normale de produits (densité 1,075) renfermée dans le mélange gazeux, ainsi qu'à la proportion d'acide carbonique contenu dans ce dernier.

Quand cette proportion est 18,9 pour 100, $D - 1 = 0,075$. La valeur de $D - 1$, quand le gaz contient $\frac{1}{100}$ d'acide carbonique, est donc $\frac{0,075}{18,9} = 0,00397$.

V étant le volume des ballons, la valeur de P est pour $\frac{N}{100}$ CO^2 :

$$P = 0,00397 \frac{V}{(1 + \alpha t)} \frac{H}{760} \times N.$$

et pour $V = 1^l$, $t = 15°$, $H = 760$.

$$P = 4^{mgr},89 \times N.$$

Dans ce cas spécial de la combustion on peut, sans inconvénient, négliger les erreurs dues aux variations de température de la caisse et de la pression atmosphérique.

Il suffit parfaitement, en effet, pour bien régler la combustion, d'apprécier exactement, dans le gaz, l'acide carbonique à un demi centième près; les erreurs qui résultent d'une variation de pression de 20 millimètres de mercure en plus ou en moins de 760, de même que d'un écart de température de

10 degrés en plus ou en moins de la température (15 degrés) du réglage, n'atteignent pas ce chiffre, même dans le cas d'un excellente combustion qui fournit des gaz renfermant 14 pour 100 environ d'acide carbonique. Il en est de même de la variation de composition des houilles; un écart de un quart du chiffre d'hydrogène ne produit qu'une erreur de 1/700 CO^2.

On voit donc qu'une graduation ainsi établie, et dont l'intervalle entre chaque division correspond à un poids de $4^{mgr},89$ indiquera la proportion d'acide carbonique renfermée dans les gaz de combustion, à moins de un demi-centième d'acide carbonique près, même avec des écarts de 20 degrés pour la température et de 40 millimètres de mercure pour la pression.

Détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. — L'appareil dont nous venons de parler peut servir en même temps à la détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. Cette quantité de chaleur est évidemment fonction du volume des gaz et de la différence $T - t$ des températures qu'ils présentent à leur entrée à l'état d'air et à leur sortie des appareils de chauffage.

Cette quantité de chaleur perdue augmente donc à mesure que les excès d'air deviennent de plus en plus grands; d'où il résulte que la densité des gaz de combustion peut nous permettre d'évaluer la quantité de combustible ainsi consommé en pure perte.

Considérons un kilogramme de houille moyenne renfermant 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène combustible.

Le volume gazeux résultant de la combustion théorique de cette quantité sera de 8.900 litres du mélange que nous avons désigné sous le nom de produit normal de combustion; sa densité étant 1,075, son poids sera $12^{kg},46$.

En attribuant à ce gaz la chaleur spécifique de l'air, la quantité de chaleur entraînée par ceux-ci est :

$$12,46 \times 0,237 \times (T - t) = 2,95 \times (T - t).$$

D'autre part, la chaleur développée dans la combustion de un kilogramme de cette houille sera, d'après les données thermiques :

$$C \text{ amorphe} + O^2 = CO^2 + 97. \text{ cal.}$$
$$H^2 + O = HO \text{ liquide} + 69 \text{ cal.}$$

Pour 850^{gr} C.	6.800 cal.
Pour 40^{gr} H.	1.380 cal.
Ensemble.	8.180 cal.

La vapeur d'eau produite par la combustion de 40 grammes d'hydrogène, qui ne se condense qu'après sa sortie des appareils, entraîne avec elle une quantité de chaleur égale à 5 calories par gramme d'hydrogène brûlé; mais cette perte est indépendante de l'excès d'air, il n'y a donc pas lieu de la faire figurer dans nos calculs.

La perte par les gaz fixes, rapportée à 100 parties de combustible, est donc égale à :

$$100 \times \frac{2,95\,(T-t)}{8,180} = 0,036\,(T-t)$$

dans le cas idéal d'une combustion parfaite, c'est-à-dire dans les cas où les gaz renferment 18,9 pour 100 de CO^2.

Si la combustion a été, au contraire, effectuée avec deux, trois, quatre fois le volume d'air nécessaire, les pertes seront, à très peu de chose près, égales à deux, trois, quatre fois cette valeur, en même temps que la proportion d'acide carbonique contenue dans ces gaz sera deux, trois, quatre fois plus petits.

Pour chaque valeur déterminée de $T - t$, la perte d'énergie calorifique sera donc aisément déduite de la proportion de CO^2 renfermée dans le gaz, par conséquent des indications fournies par l'appareil.

D'une manière générale, CO^2 étant indiqué en centièmes par l'appareil, on a la perte pour m divisions :

$$N = 0,036 \times \frac{18,9}{m}\,(T-t).$$

Le tableau ci-joint permet d'évaluer cette perte en fonction de l'air en

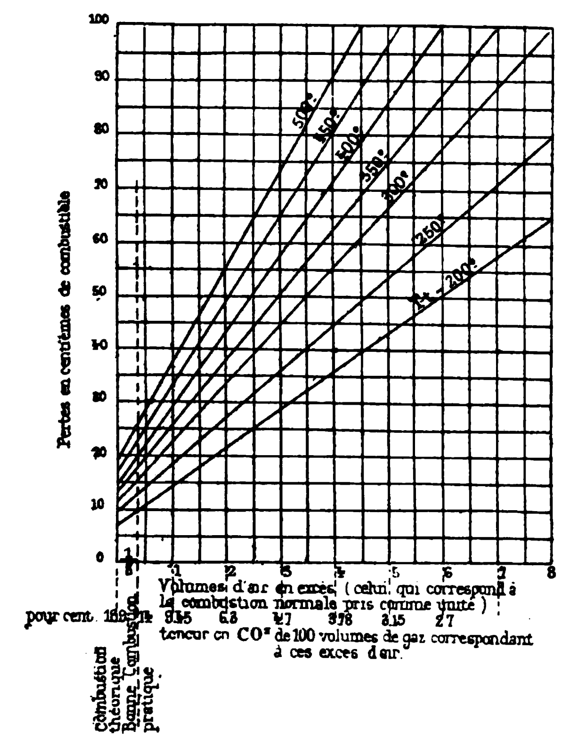


Fig. 197.

excès et de voir aussi dans quelle proportion s'accroît la déperdition de chaleur à mesure que diminue la proportion d'acide carbonique; il montre quel intérêt s'attache au réglage de l'admission de l'air dans les foyers.

10 degrés en plus ou en moins de la température (15 degrés) du réglage, n'atteignent pas ce chiffre, même dans le cas d'un excellente combustion qui fournit des gaz renfermant 14 pour 100 environ d'acide carbonique. Il en est de même de la variation de composition des houilles; un écart de un quart du chiffre d'hydrogène ne produit qu'une erreur de 1/700 CO^2.

On voit donc qu'une graduation ainsi établie, et dont l'intervalle entre chaque division correspond à un poids de $4^{mgr},89$ indiquera la proportion d'acide carbonique renfermée dans les gaz de combustion, à moins de un demi-centième d'acide carbonique près, même avec des écarts de 20 degrés pour la température et de 40 millimètres de mercure pour la pression.

Détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. — L'appareil dont nous venons de parler peut servir en même temps à la détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. Cette quantité de chaleur est évidemment fonction du volume des gaz et de la différence $T - t$ des températures qu'ils présentent à leur entrée à l'état d'air et à leur sortie des appareils de chauffage.

Cette quantité de chaleur perdue augmente donc à mesure que les excès d'air deviennent de plus en plus grands; d'où il résulte que la densité des gaz de combustion peut nous permettre d'évaluer la quantité de combustible ainsi consommé en pure perte.

Considérons un kilogramme de houille moyenne renfermant 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène combustible.

Le volume gazeux résultant de la combustion théorique de cette quantité sera de 8.900 litres du mélange que nous avons désigné sous le nom de produit normal de combustion; sa densité étant 1,075, son poids sera $12^{kg},46$.

En attribuant à ce gaz la chaleur spécifique de l'air, la quantité de chaleur entraînée par ceux-ci est :

$$12,46 \times 0,237 \times (T - t) = 2,95 \times (T - t).$$

D'autre part, la chaleur développée dans la combustion de un kilogramme de cette houille sera, d'après les données thermiques :

$$C \text{ amorphe} + O^2 = CO^2 + 97. \text{cal.}$$
$$H^2 + O = HO \text{ liquide} + 69 \text{ cal.}$$

Pour 850^{gr} C.	6.800 cal.
Pour 40^{gr} H.	1.380 cal.
Ensemble.	8.180 cal.

La vapeur d'eau produite par la combustion de 40 grammes d'hydrogène, qui ne se condense qu'après sa sortie des appareils, entraîne avec elle une quantité de chaleur égale à 5 calories par gramme d'hydrogène brûlé; mais cette perte est indépendante de l'excès d'air, il n'y a donc pas lieu de la faire figurer dans nos calculs.

La perte par les gaz fixes, rapportée à 100 parties de combustible, est donc égale à :

$$100 \times \frac{2,95\,(T - t)}{8,180} = 0,036\,(T - t)$$

dans le cas idéal d'une combustion parfaite, c'est-à-dire dans les cas où les gaz renferment 18,9 pour 100 de CO^2.

Si la combustion a été, au contraire, effectuée avec deux, trois, quatre fois le volume d'air nécessaire, les pertes seront, à très peu de chose près, égales à deux, trois, quatre fois cette valeur, en même temps que la proportion d'acide carbonique contenue dans ces gaz sera deux, trois, quatre fois plus petits.

Pour chaque valeur déterminée de $T - t$, la perte d'énergie calorifique sera donc aisément déduite de la proportion de CO^2 renfermée dans le gaz, par conséquent des indications fournies par l'appareil.

D'une manière générale, CO^2 étant indiqué en centièmes par l'appareil, on a la perte pour m divisions :

$$N = 0,036 \times \frac{18,9}{m}\,(T - t).$$

Le tableau ci-joint permet d'évaluer cette perte en fonction de l'air en

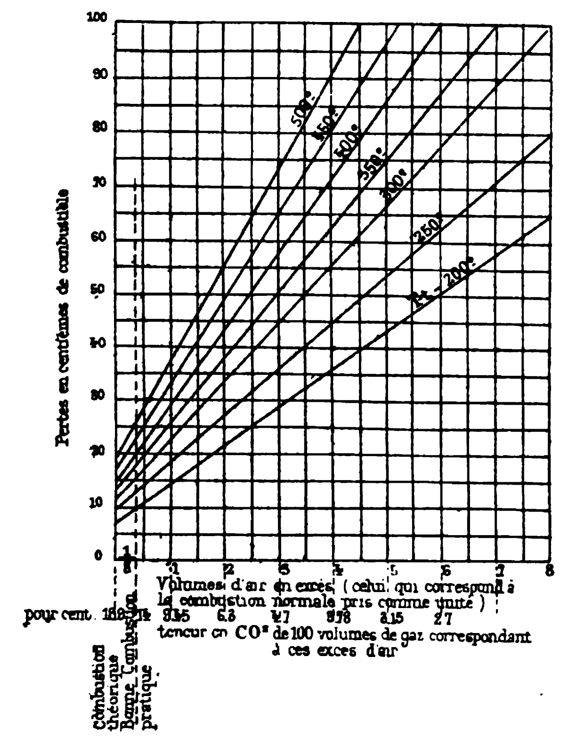


Fig. 197.

excès et de voir aussi dans quelle proportion s'accroît la déperdition de chaleur à mesure que diminue la proportion d'acide carbonique; il montre quel intérêt s'attache au réglage de l'admission de l'air dans les foyers.

10 degrés en plus ou en moins de la température (15 degrés) du réglage, n'atteignent pas ce chiffre, même dans le cas d'un excellente combustion qui fournit des gaz renfermant 14 pour 100 environ d'acide carbonique. Il en est de même de la variation de composition des houilles; un écart de un quart du chiffre d'hydrogène ne produit qu'une erreur de 1/700 CO^2.

On voit donc qu'une graduation ainsi établie, et dont l'intervalle entre chaque division correspond à un poids de $4^{mgr},89$ indiquera la proportion d'acide carbonique renfermée dans les gaz de combustion, à moins de un demi-centième d'acide carbonique près, même avec des écarts de 20 degrés pour la température et de 40 millimètres de mercure pour la pression.

Détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. — L'appareil dont nous venons de parler peut servir en même temps à la détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. Cette quantité de chaleur est évidemment fonction du volume des gaz et de la différence $T - t$ des températures qu'ils présentent à leur entrée à l'état d'air et à leur sortie des appareils de chauffage.

Cette quantité de chaleur perdue augmente donc à mesure que les excès d'air deviennent de plus en plus grands; d'où il résulte que la densité des gaz de combustion peut nous permettre d'évaluer la quantité de combustible ainsi consommé en pure perte.

Considérons un kilogramme de houille moyenne renfermant 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène combustible.

Le volume gazeux résultant de la combustion théorique de cette quantité sera de 8.900 litres du mélange que nous avons désigné sous le nom de produit normal de combustion; sa densité étant 1,075, son poids sera $12^{kg},46$.

En attribuant à ce gaz la chaleur spécifique de l'air, la quantité de chaleur entraînée par ceux-ci est :

$$12,46 \times 0,237 \times (T - t) = 2,95 \times (T - t).$$

D'autre part, la chaleur développée dans la combustion de un kilogramme de cette houille sera, d'après les données thermiques :

$$C \text{ amorphe} + O^2 = CO^2 + 97. \text{ cal.}$$
$$H^2 + O = HO \text{ liquide} + 69 \text{ cal.}$$

Pour 850^{gr} C.	6.800 cal.
Pour 40^{gr} H.	1.380 cal.
Ensemble.	8.180 cal.

La vapeur d'eau produite par la combustion de 40 grammes d'hydrogène, qui ne se condense qu'après sa sortie des appareils, entraîne avec elle une quantité de chaleur égale à 5 calories par gramme d'hydrogène brûlé; mais cette perte est indépendante de l'excès d'air, il n'y a donc pas lieu de la faire figurer dans nos calculs.

La perte par les gaz fixes, rapportée à 100 parties de combustible, est donc égale à :

$$100 \times \frac{2,95\,(T-t)}{8,180} = 0,036\,(T-t)$$

dans le cas idéal d'une combustion parfaite, c'est-à-dire dans les cas où les gaz renferment 18,9 pour 100 de CO^2.

Si la combustion a été, au contraire, effectuée avec deux, trois. quatre fois le volume d'air nécessaire, les pertes seront, à très peu de chose près, égales à deux, trois, quatre fois cette valeur, en même temps que la proportion d'acide carbonique contenue dans ces gaz sera deux, trois, quatre fois plus petits.

Pour chaque valeur déterminée de $T-t$, la perte d'énergie calorifique sera donc aisément déduite de la proportion de CO^2 renfermée dans le gaz, par conséquent des indications fournies par l'appareil.

D'une manière générale, CO^2 étant indiqué en centièmes par l'appareil, on a la perte pour m divisions :

$$N = 0,036 \times \frac{18,9}{m}\,(T-t).$$

Le tableau ci-joint permet d'évaluer cette perte en fonction de l'air en

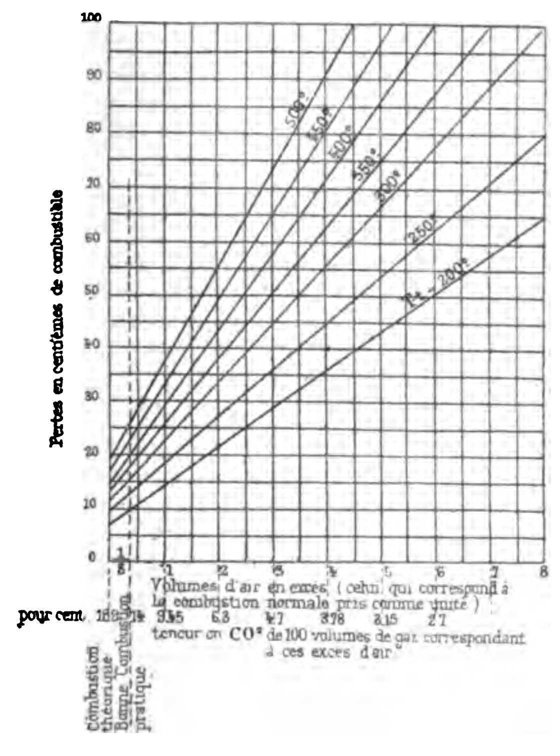


Fig. 197.

excès et de voir aussi dans quelle proportion s'accroît la déperdition de chaleur à mesure que diminue la proportion d'acide carbonique; il montre quel intérêt s'attache au réglage de l'admission de l'air dans les foyers.

10 degrés en plus ou en moins de la température (15 degrés) du réglage, n'atteignent pas ce chiffre, même dans le cas d'un excellente combustion qui fournit des gaz renfermant 14 pour 100 environ d'acide carbonique. Il en est de même de la variation de composition des houilles; un écart de un quart du chiffre d'hydrogène ne produit qu'une erreur de 1/700 CO^2.

On voit donc qu'une graduation ainsi établie, et dont l'intervalle entre chaque division correspond à un poids de $4^{mgr},89$ indiquera la proportion d'acide carbonique renfermée dans les gaz de combustion, à moins de un demi-centième d'acide carbonique près, même avec des écarts de 20 degrés pour la température et de 40 millimètres de mercure pour la pression.

Détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. — L'appareil dont nous venons de parler peut servir en même temps à la détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. Cette quantité de chaleur est évidemment fonction du volume des gaz et de la différence $T - t$ des températures qu'ils présentent à leur entrée à l'état d'air et à leur sortie des appareils de chauffage.

Cette quantité de chaleur perdue augmente donc à mesure que les excès d'air deviennent de plus en plus grands; d'où il résulte que la densité des gaz de combustion peut nous permettre d'évaluer la quantité de combustible ainsi consommé en pure perte.

Considérons un kilogramme de houille moyenne renfermant 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène combustible.

Le volume gazeux résultant de la combustion théorique de cette quantité sera de 8.900 litres du mélange que nous avons désigné sous le nom de produit normal de combustion; sa densité étant 1,075, son poids sera $12^{kg},46$.

En attribuant à ce gaz la chaleur spécifique de l'air, la quantité de chaleur entraînée par ceux-ci est :

$$12,46 \times 0,237 \times (T - t) = 2,95 \times (T - t).$$

D'autre part, la chaleur développée dans la combustion de un kilogramme de cette houille sera, d'après les données thermiques :

$$C \text{ amorphe} + O^2 = CO^2 + 97.\text{ cal.}$$
$$H^2 + O = HO \text{ liquide} + 69 \text{ cal.}$$

Pour 850^{gr} C.	6.800 cal.
Pour 40^{gr} H.	1.380 cal.
Ensemble.	8.180 cal.

La vapeur d'eau produite par la combustion de 40 grammes d'hydrogène, qui ne se condense qu'après sa sortie des appareils, entraîne avec elle une quantité de chaleur égale à 5 calories par gramme d'hydrogène brûlé; mais cette perte est indépendante de l'excès d'air, il n'y a donc pas lieu de la faire figurer dans nos calculs.

La perte par les gaz fixes, rapportée à 100 parties de combustible, est donc égale à :

$$100 \times \frac{2{,}95\,(T - t)}{8{,}180} = 0{,}036\,(T - t)$$

dans le cas idéal d'une combustion parfaite, c'est-à-dire dans les cas où les gaz renferment 18,9 pour 100 de CO^2.

Si la combustion a été, au contraire, effectuée avec deux, trois. quatre fois le volume d'air nécessaire, les pertes seront, à très peu de chose près, égales à deux, trois, quatre fois cette valeur, en même temps que la proportion d'acide carbonique contenue dans ces gaz sera deux, trois, quatre fois plus petits.

Pour chaque valeur déterminée de $T - t$, la perte d'énergie calorifique sera donc aisément déduite de la proportion de CO^2 renfermée dans le gaz, par conséquent des indications fournies par l'appareil.

D'une manière générale, CO^2 étant indiqué en centièmes par l'appareil, on a la perte pour m divisions :

$$N = 0{,}036 \times \frac{18{,}9}{m}\,(T - t).$$

Le tableau ci-joint permet d'évaluer cette perte en fonction de l'air en

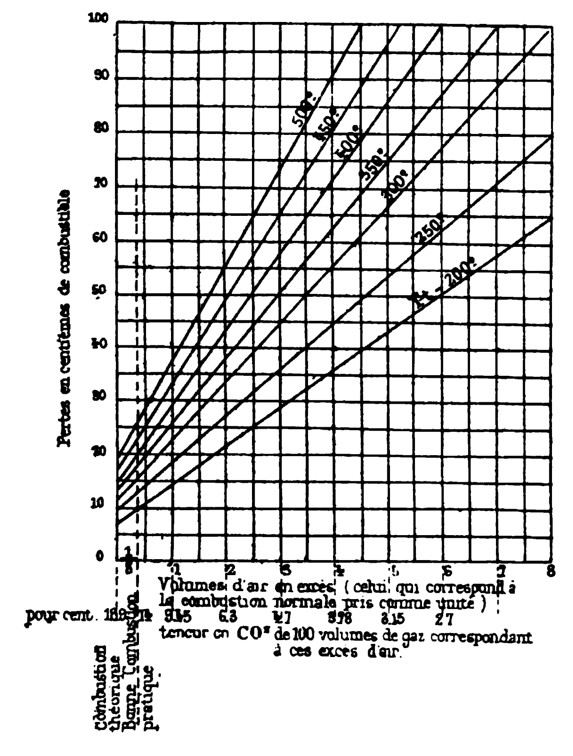


Fig. 197.

excès et de voir aussi dans quelle proportion s'accroît la déperdition de chaleur à mesure que diminue la proportion d'acide carbonique; il montre quel intérêt s'attache au réglage de l'admission de l'air dans les foyers.

10 degrés en plus ou en moins de la température (15 degrés) du réglage, n'atteignent pas ce chiffre, même dans le cas d'un excellente combustion qui fournit des gaz renfermant 14 pour 100 environ d'acide carbonique. Il en est de même de la variation de composition des houilles; un écart de un quart du chiffre d'hydrogène ne produit qu'une erreur de 1/700 CO^2.

On voit donc qu'une graduation ainsi établie, et dont l'intervalle entre chaque division correspond à un poids de 4^{mgr},89 indiquera la proportion d'acide carbonique renfermée dans les gaz de combustion, à moins de un demi-centième d'acide carbonique près, même avec des écarts de 20 degrés pour la température et de 40 millimètres de mercure pour la pression.

Détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. — L'appareil dont nous venons de parler peut servir en même temps à la détermination de la chaleur entraînée par les gaz brûlés. Cette quantité de chaleur est évidemment fonction du volume des gaz et de la différence $T - t$ des températures qu'ils présentent à leur entrée à l'état d'air et à leur sortie des appareils de chauffage.

Cette quantité de chaleur perdue augmente donc à mesure que les excès d'air deviennent de plus en plus grands; d'où il résulte que la densité des gaz de combustion peut nous permettre d'évaluer la quantité de combustible ainsi consommé en pure perte.

Considérons un kilogramme de houille moyenne renfermant 850 grammes de carbone et 40 grammes d'hydrogène combustible.

Le volume gazeux résultant de la combustion théorique de cette quantité sera de 8.900 litres du mélange que nous avons désigné sous le nom de produit normal de combustion; sa densité étant 1,075, son poids sera 12^{kg},46.

En attribuant à ce gaz la chaleur spécifique de l'air, la quantité de chaleur entraînée par ceux-ci est :

$$12{,}46 \times 0{,}237 \times (T - t) = 2{,}95 \times (T - t).$$

D'autre part, la chaleur développée dans la combustion de un kilogramme de cette houille sera, d'après les données thermiques :

$$C \text{ amorphe} + O^2 = CO^2 + 97. \text{ cal.}$$
$$H^2 + O = HO \text{ liquide} + 69 \text{ cal.}$$

Pour 850^{gr} C.	6.800 cal.
Pour 40^{gr} H.	1.380 cal.
Ensemble.	8.180 cal.

La vapeur d'eau produite par la combustion de 40 grammes d'hydrogène, qui ne se condense qu'après sa sortie des appareils, entraîne avec elle une quantité de chaleur égale à 5 calories par gramme d'hydrogène brûlé; mais cette perte est indépendante de l'excès d'air, il n'y a donc pas lieu de la faire figurer dans nos calculs.

La perte par les gaz fixes, rapportée à 100 parties de combustible, est donc égale à :

$$100 \times \frac{2{,}95\,(T - t)}{8{,}180} = 0{,}036\,(T - t)$$

dans le cas idéal d'une combustion parfaite, c'est-à-dire dans les cas où les gaz renferment 18,9 pour 100 de CO^2.

Si la combustion a été, au contraire, effectuée avec deux, trois. quatre fois le volume d'air nécessaire, les pertes seront, à très peu de chose près, égales à deux, trois, quatre fois cette valeur, en même temps que la proportion d'acide carbonique contenue dans ces gaz sera deux, trois, quatre fois plus petits.

Pour chaque valeur déterminée de $T - t$, la perte d'énergie calorifique sera donc aisément déduite de la proportion de CO^2 renfermée dans le gaz, par conséquent des indications fournies par l'appareil.

D'une manière générale, CO^2 étant indiqué en centièmes par l'appareil, on a la perte pour m divisions :

$$N = 0{,}036 \times \frac{18{,}9}{m}\,(T - t).$$

Le tableau ci-joint permet d'évaluer cette perte en fonction de l'air en

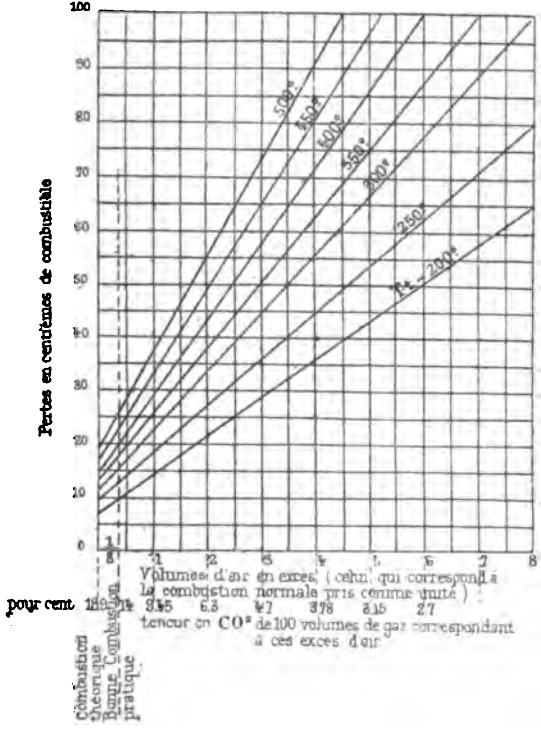


Fig. 197.

excès et de voir aussi dans quelle proportion s'accroît la déperdition de chaleur à mesure que diminue la proportion d'acide carbonique; il montre quel intérêt s'attache au réglage de l'admission de l'air dans les foyers.

Ainsi qu'il ressort de l'examen de ce graphique, pour une valeur de (T — t), égale à 300 degrés, la perte d'énergie calorifique atteint 32 pour 100 quand la teneur en acide carbonique descend à 6 pour 100, et dans un très grand nombre d'usines ce chiffre est un maximum.

Nous avons maintes fois trouvé 4 et même 3 pour 100 d'acide carbonique; la perte dépasse alors 50 pour 100 pour une valeur de T — t, inférieure même à 250 degrés.

Dans le cas de fours à température très élevée, où les gaz s'échappent souvent à plus de 500 degrés, ces pertes peuvent prendre des valeurs plus grandes encore.

Une bonne combustion pratique qui correspond à une teneur de 14 pour 100 d'acide carbonique ne produit au contraire qu'une perte de 10 à 15 pour 100.

La détermination de la densité des gaz brûlés, en fournissant le moyen de doser l'acide carbonique, permet donc facilement d'évaluer l'excès d'air ainsi que la perte de chaleur qui en est la conséquence fâcheuse.

Chaleur entraînée par les gaz fixes. Pertes de combustible correspondant à la teneur des gaz en CO^2 rapportées à 100 p. de combustible.
(Houille 85 pour 100 C, 4 p. 100 H.)

Par ces indications, elle permet de régler avec sûreté l'admission de l'air suivant les conditions variables du tirage ou de l'état du combustible qui se présentent aux diverses périodes d'une combustion, et de réaliser ainsi une économie de combustible bien souvent supérieure à 25 pour 100.

Burette de Bünte. — Nous terminerons ce qui a trait à l'analyse des gaz en donnant la description d'un appareil « Burette de Bünte », dont l'emploi est général en Allemagne. La burette Bünte est appliquée surtout à l'analyse des produits de la combustion; mais complétée par un eudiomètre Riban ou Bunsen, elle peut servir au dosage des hydrocarbures.

Cet appareil se compose d'un tube mesureur A (fig. 198) protégé par un manchon plein d'eau, surmonté d'un entonnoir t, portant un trait. Un robinet à trois voies a et un robinet ordinaire b ferment le tube mesureur dont la capacité entre ces deux robinets est d'un peu plus de 110 centimètres cubes. Le chiffre 100 correspond au robinet supérieur; le o est à quelques centimètres au-dessus du robinet b, les divisions se continuent au-dessous sur un volume de 10 à 15 centimètres cubes.

Le mesureur est suspendu à un support spécial à l'aide de la pince K, qui s'ouvre facilement. Le même support porte un plateau fixe qui reçoit le flacon F destiné à refouler de l'eau dans la burette et aussi à aspirer les gaz.

On peut aussi remplir la burette du gaz à analyser à l'aide d'une pompe à gaz quelconque.

Pour prendre du gaz, on ouvre les robinets a et b ainsi que la pince p; l'eau du flacon F vient remplir la burette et l'entonnoir; on ferme la pince et les robinets lorsque l'eau arrive au trait marqué sur l'entonnoir. Le flacon F est abaissé; on tourne le robinet a pour que le canal longitudinal c fasse communiquer la burette avec le gaz à analyser; on ouvre alors le robinet b, l'eau s'écoule et est remplacée par du gaz qu'on refoule par l'entonnoir t, après

avoir répété plusieurs fois cette opération pour purger le tube qui relie la burette avec le réservoir de gaz; on prend un peu plus de 100 divisions de gaz, on fait une légère pression dans le mesureur à l'aide du flacon F et on tourne le robinet *a* pour que l'excès de gaz s'échappe à travers l'eau de

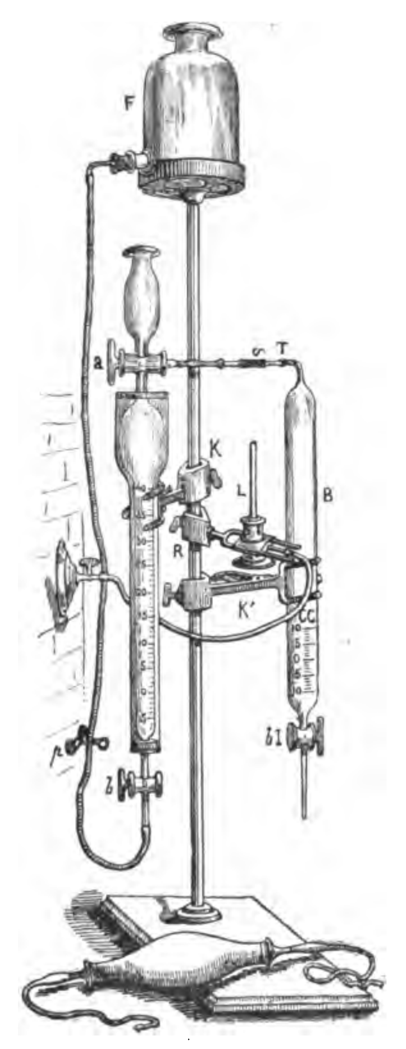


Fig. 198.

l'entonnoir. Toutes les lectures se font sous la pression atmosphérique augmentée de celle de la colonne d'eau de l'entonnoir.

Pour introduire les réactifs, on opère de la manière suivante : le robinet *a* étant fermé, on ouvre *b*, et en abaissant le flacon F, on produit une dépression dans le mesureur; on ferme alors la pince *p* et le robinet *b*, on retire le tube de caoutchouc qui y était fixé. Dans la capsule C on verse le réactif en solution concentrée, on y plonge la pointe du robinet *b* qu'on ouvre ensuite; le liquide

monte dans la burette un peu moins haut que l'eau, par suite de sa plus grande densité; après avoir fermé le robinet *b*, on retire la burette de la pince K, on bouche l'entonnoir *t* avec la paume de la main, on incline la burette et on lui imprime de petites secousses. En plongeant à nouveau la pointe de la burette dans le réactif et en ouvrant le robinet, on fait pénétrer

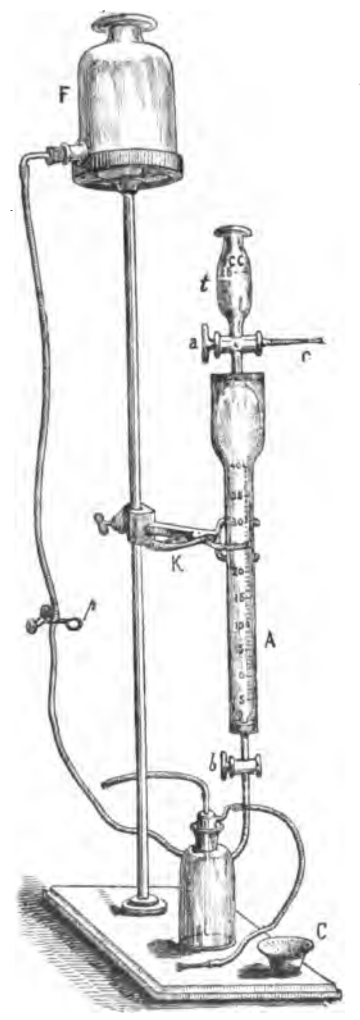


Fig. 193.

une nouvelle quantité du produit, qui vient remplacer le gaz absorbé. On agite à nouveau jusqu'à ce que le volume reste constant; il faut alors laver la burette dont la pointe est placée dans une capsule pleine d'eau; on ouvre les robinets *b* puis *a*, l'eau de l'entonnoir *t* s'écoule, on a soin de la remplacer au fur et à mesure; une fois le réactif chassé de la burette, on ferme le robinet *b* et on amène l'eau contenue dans l'entonnoir au trait marqué, puis

on lit le volume de gaz restant. On peut alors, à l'aide d'autres réactifs, absorber les divers gaz contenus dans le mélange.

On peut aussi, avec la burette de Bünte, doser l'hydrogène et les carbures par combustion. A cet effet, l'appareil est disposé de la façon suivante (fig. 199) : A est la burette ordinaire avec le flacon F; K' et K sont deux pinces qui supportent, l'une un tube B, l'autre un brûleur de Bunsen ou une lampe à alcool.

Le tube B se termine à la partie supérieure par un tube capillaire T, qui contient en *v* un fil de palladium; ce tube T ne doit jamais être mouillé; en bas du tube B est un robinet *b*1.

Pour opérer, on mélange une quantité connue du gaz à analyser avec un volume également connu d'oxygène ou d'air atmosphérique, on agite pour favoriser le mélange. Puis, à l'aide d'un tube de caoutchouc, on relie la tubulure du robinet *a* avec le tube T, on chauffe progressivement le fil de palladium avec la lampe L et on fait passer doucement le mélange gazeux de A en B; à cet effet, on ouvre les robinets *b*1, *a* et *b* et la pince *p;* on doit arrêter l'arrivée d'eau quand le tube A est plein jusqu'au robinet *a;* on fait alors rentrer le gaz dans le tube A en plongeant la pointe du tube B dans une capsule pleine d'eau et en abaissant le flacon F; lorsque tous les gaz sont rentrés dans le tube A, on ferme le robinet *a* et et on laisse refroidir, puis on lit. Selon que le mélange ne contient que de l'hydrogène, ou de l'hydrogène et des carbures, on lit le volume du gaz restant pour calculer l'hydrogène, et dans le second cas, après avoir lu le volume du gaz, on do.e l'acide carbonique produit.

LIVRE SIXIÈME

VERRE A VITRES

L'emploi des vitres était connu des anciens ; Sénèque affirme que l'invention de clore les habitations par des vitres date de son époque. Comme nous l'avons écrit au début de ce travail sur le verre, en citant un passage de l'ouvrage de Mazois, *les Ruines de Pompéi*, l'incertitude n'est plus permise en ce qui concerne l'emploi des vitres par les Romains. Les vitres de Pompéi ont été moulées. Le verre en était trop alcalin.

Voici une analyse de verre pompéien (I) et la composition du verre actuel (II) :

	I.	II.
Silice	69,43	69,06
Chaux	7,24	13,04
Soude	17,31	15,2
Alumine	3,55	1,8
Oxyde de fer	1,15	»
Oxyde de manganèse	0,39	»
Cuivre	traces.	»
	99,07	99,10

Quoique l'usage du verre employé comme vitre fût connu des Romains, on ne commença guère qu'au troisième siècle à l'employer pour garnir les fenêtres des églises ; et jusqu'au septième siècle l'usage en fut restreint, on l'employait principalement à l'état de *cives* ou petites vitres rondes qui avaient l'avantage d'être fabriquées par une seule opération.

D'après M. Ferdinand de Lasteyrie il existe à l'abbaye de Tegernsee, en Bavière, des vitraux datant du dixième siècle.

Les vitraux de l'abbaye de Leroux (en Anjou) datent de 1121, ceux de l'abbaye de Saint-Denis datent de 1140.

Certains auteurs, Léon d'Ostie, le moine Bicher entre autres, citent diverses applications de verres colorés faites aux églises et cathédrales de Reims (968), de Dijon (1052).

L'usage des vitres dans nos habitations ne remonte qu'au quatorzième siècle. En 1413, la duchesse de Berry s'étant rendue au château de Montpensier, en Auvergne, les fenêtres du dit château furent garnies de toiles cirées par défaut de verreries.

On lit dans les Comptes de l'argenterie des rois de France pour 1554 : « Deux aunes de toile cirée dont a été fait un châssis mis dans la chambre de retraite de la dite dame reine au château de Melun, plus quatre châssis de bois à tendre le papier sur les fenêtres de la dite chambre et huile pour les oindre pour être plus clairs. »

Plus de cent cinquante ans après — chose vraiment curieuse — on voit l'intendant du duc de Northumberland démonter les vitres du château de sa seigneurie pour les mettre à l'abri du vent pendant son absence.

En Écosse, le palais du roi jusqu'en 1651, n'eût de vitres qu'aux étages supérieurs; les fenêtres du rez-de-chaussée étaient formées par des volets de bois que l'on ouvrait de temps à autre pour laisser entrer l'air.

Bien que l'emploi des vitres fût plus répandu en France, elles n'étaient formées jusqu'au siècle de Louis XIV que de carreaux de petite dimension encastrés dans des baguettes de plomb, usage que certains antiquaires semblent vouloir remettre en honneur aujourd'hui, au moins dans certains cas. Le goût de l'antique ramènera peut-être aussi l'emploi des tablettes de marbre, percées d'ouvertures dans lesquelles on adaptait des morceaux de verre!

L'usage des vitres ne se généralisa pas très rapidement, puisque, au dix-huitième siècle, il existait encore une corporation de *châssessiers*, dont la profession consistait à garnir les fenêtres de papier huilé.

Il existe deux procédés différents pour fabriquer le verre à vitres :

Le procédé des cylindres;

Le procédé des plateaux ou du verre en couronne.

Le premier de ces procédés est le plus répandu, le second tend à disparaître. Ces deux procédés ont été pratiqués depuis le onzième siècle. A cette époque, à Venise et en Bohême, on se servait du procédé des cylindres; en France (Normandie), en Angleterre, en Allemagne, le procédé des plateaux ou couronnes était usité, actuellement il n'est guère employé qu'en certaines parties de l'Angleterre.

Le moine Théophile décrit ainsi la *fabrication des feuilles de verre* (1) :

Procédé des cylindres. — Le verre étant donc fondu, dès le matin prenez le tube de fer, proprement dit la canne, et si vous voulez faire des feuilles de verre, posez l'extrémité de cette canne (2) dans un des creusets sur la surface du verre qui adhérera à la canne, tournez-la alors dans votre main sur elle-même jusqu'à ce qu'il s'y soit enroulé du verre en quantité suffisante, alors retirez-la de l'ouvreau, appliquez l'autre extrémité du tube dans votre bouche et soufflez peu à peu, en éloignant de temps en temps la canne de votre bouche pour ne pas aspirer de l'air brûlant, quand vous reprenez votre respiration (3). Ayez aussi entre vous et l'ouvreau une pierre plate (4) placée horizontalement.

(1) Chap. VI et IX du livre II, *Essais sur divers arts*. Traduction G. Bontemps.

(2) L'extrémité de cette canne a dû être préalablement chauffée au rouge brun, autrement le verre n'y adhérerait pas.

(3) L'auteur dit : *ne trahas lammam in os tuum*; littéralement, pour ne pas aspirer la flamme dans votre bouche; mais en réalité, ce ne serait que de l'air chaud.

(4) C'est ce qu'on nomme le marbre ou mabre, qui est plus souvent une plaque de fer.

sur laquelle vous posez, soulevez et posez l'extrémité du verre soufflé, en tenant la canne verticalement pour donner au verre une forme cylindrique régulière, et continuez de souffler rapidement à petits coups (1). Quand le verre a pris la forme d'une vessie oblongue, présentez-en l'extrémité à la flamme de l'ouvreau en bouchant avec la main l'autre bout de la canne (2); le verre ramolli à cette extrémité donne passage à l'air dilaté, et avec un bois préparé à cet effet, vous ouvrez le trou jusqu'à ce qu'il ait le diamètre de l'ensemble, puis vous rapprochez l'un des bords de l'ouverture du bord opposé, sans toutefois qu'il y ait contact complet (3). Appuyez alors un bois mouillé sur le verre près de la canne, et donnez à celle-ci un petit choc; il se formera au contact de ce bois une fêlure, et le verre se détache de la canne; empressez-vous alors de chauffer le bout de cette canne où il est resté du verre, et lorsque ce verre est ramolli, approchez-le de l'ouverture du cylindre à laquelle il adhérera; enlevez alors ce cylindre avec la canne et présentez à l'ouvreau l'extrémité qui tenait à la canne, et lorsque cette extrémité est ramollie, élargissez-en l'ouverture avec le bois, et rapprochez-en les bords, ainsi que cela a été fait à l'autre bout, et détachant le cylindre du bout enverré de la canne avec un bois mouillé, faites approcher le gamin, qui entrant une tige de bois par l'ouverture portera le cylindre dans le four à refroidir, chauffé à une température moyenne (4); cette espèce de verre est pure et blanche. Vous continuerez ce travail jusqu'à ce que vous ayez vidé vos creusets. »

Au chapitre IX, Théophile explique ainsi l'étendage des feuilles de verre.

Ce procédé de fabrication en cylindres avait de grands avantages lorqu'il s'agissait de produire en verres de couleurs des teintes uniformes, ce qui n'était guère possible avec les plateaux dont le centre présentait toujours un surcroît d'épaisseur. Par suite de l'extension des applications des carreaux de vitres, les architectes augmentant toujours la dimension de ces carreaux, la fabrication en cylindres ne pouvait fournir les dimensions ainsi demandées, car ces plateaux n'avaient que $0^m,80$ à $0^m,85$ de diamètre, et à cause du renflement au centre du plateau il eût été difficile de découper dans un de ces plateaux un carreau d'épaisseur égale ayant plus de 20 à 25 centimètres carrés.

La fabrication du verre en plateaux donnait des vitres d'une meilleure planimétrie, cela à cause de la nécessité d'aplanir les cylindres dont le diamètre intérieur est naturellement inférieur au diamètre extérieur et qui produit au moment de l'étendage un tiraillement de l'une des faces, une contraction de l'autre. Néanmoins l'agrandissement des carreaux des fenêtres et l'usage ont fait accepter ces légers inconvénients et fait prévaloir la fabrication en cylindres.

(1) Presque inutile de dire qu'à chaque coup de souffle vous sortez la canne de votre bouche.

(2) J'ajoute au texte latin : en bouchant avec la main l'autre extrémité de la canne, pour que l'air contenu dans cette vessie, dilaté par la chaleur, se fasse une sortie à l'extrémité. Si on ne bouchait pas la canne, l'extrémité se ramollirait sans se percer.

(3) Je puis comprendre que l'on rapproche ces deux bords pour donner plus de facilité à l'empontillage, c'est-à-dire à l'opération suivante, mais je ne comprendrais pas le *conjunge oram ipsius superiorem ad inferiorem* jusqu'à l'adhérence des deux bords; cela mettrait le cylindre dans le cas de se briser avant ou pendant l'étendage.

(4) Cette température doit être un peu au-dessous de celle à laquelle le verre se ramollirait.

Les halles de fusion et de soufflage dans lesquelles se faisaient les opérations mentionnées ci-dessus étaient différentes d'aspect des halles actuelles, tant par la forme, la dimension des fours, que par la rapidité et la multiplicité du travail. Voici des gravures représentant les unes une halle de fusion et de soufflage du verre à vitres en plateaux, l'aspect extérieur de cette halle, au dix-huitième siècle (fig. 200), l'autre (fig. 200 *bis*), une verrerie actuelle où l'on produit du verre à vitres en cylindres.

On voit de suite que les conditions de travail sont toutes différentes par suite de la lutte incessante entre les fabricants pour l'abaissement du prix de revient, et pour la production la plus forte possible, l'un des éléments du bas prix des produits obtenus. La fabrication actuelle du verre à vitres dans les divers pays d'Europe et même en Amérique représente des quantités de verre et des sommes d'argent considérables. Nous citerons ces chiffres au chapitre spécial de statistique à la fin de ce travail.

La fabrication du verre en cylindres fut importée de Bohême en France au dix-huitième siècle par M. Drolinvaux, qui établit une verrerie à Saint-Quirin (Vosges). C'est de cette verrerie que sont sortis tous les verriers qui depuis se sont établis dans le midi de la France, et ensuite en Angleterre.

En Belgique, c'est la famille de Colnet qui, au commencement du quinzième siècle vint de Venise établir à Leer-lez-Fontaine-l'Evêque, le premier four à verre de la contrée, si renommée aujourd'hui pour l'importance de cette fabrication.

Vers 1680, alors que ce pays était administré par la France, des verriers français et allemands de la Lorraine, dont nous connaissons les descendants, vinrent aussi comme patrons et comme ouvriers établir des verreries dans les Pays-Bas; d'abord dans les localités boisées pour alimenter leurs foyers selon l'usage de leur pays, puis dans des centres charbonniers à Liège et à Charleroi. C'est de Lodelinsart que vers 1720 des verriers belges allèrent fonder cette industrie à Anzin et à Fresne : de là vient qu'actuellement encore il reste beaucoup de similitude entre les moyens de production du nord de la France et ceux de la Belgique. A l'Exposition de Paris en 1878 l'industrie du verre à vitres était représentée par dix-huit fabricants belges, par onze fabricants français. C'est l'importance de la fabrication belge qui nous a obligé à rappeler son origine.

COMPOSITION DU VERRE A VITRES

On distingue deux sortes de verre à vitres : Le verre en manchons que les Anglais nomment sheet-glass, et le verre « en plateau » dénommé crown-glass.

Le verre blanc convient à toutes les applications, le verre demi-blanc est en quelque sorte un dérivé, une conséquence, de la fabrication du premier. Pour l'obtenir, on emploie des résidus de la fabrication du verre blanc, et même le picadil (produit par la mousse du verre pendant son ébullition, par les matières vitrifiables versées hors des creusets au moment des enfournements), verre qui s'écoule des creusets ébréchés, etc., et rendu impur par son contact avec les briques, les matériaux réfractaires du siège du four, etc.

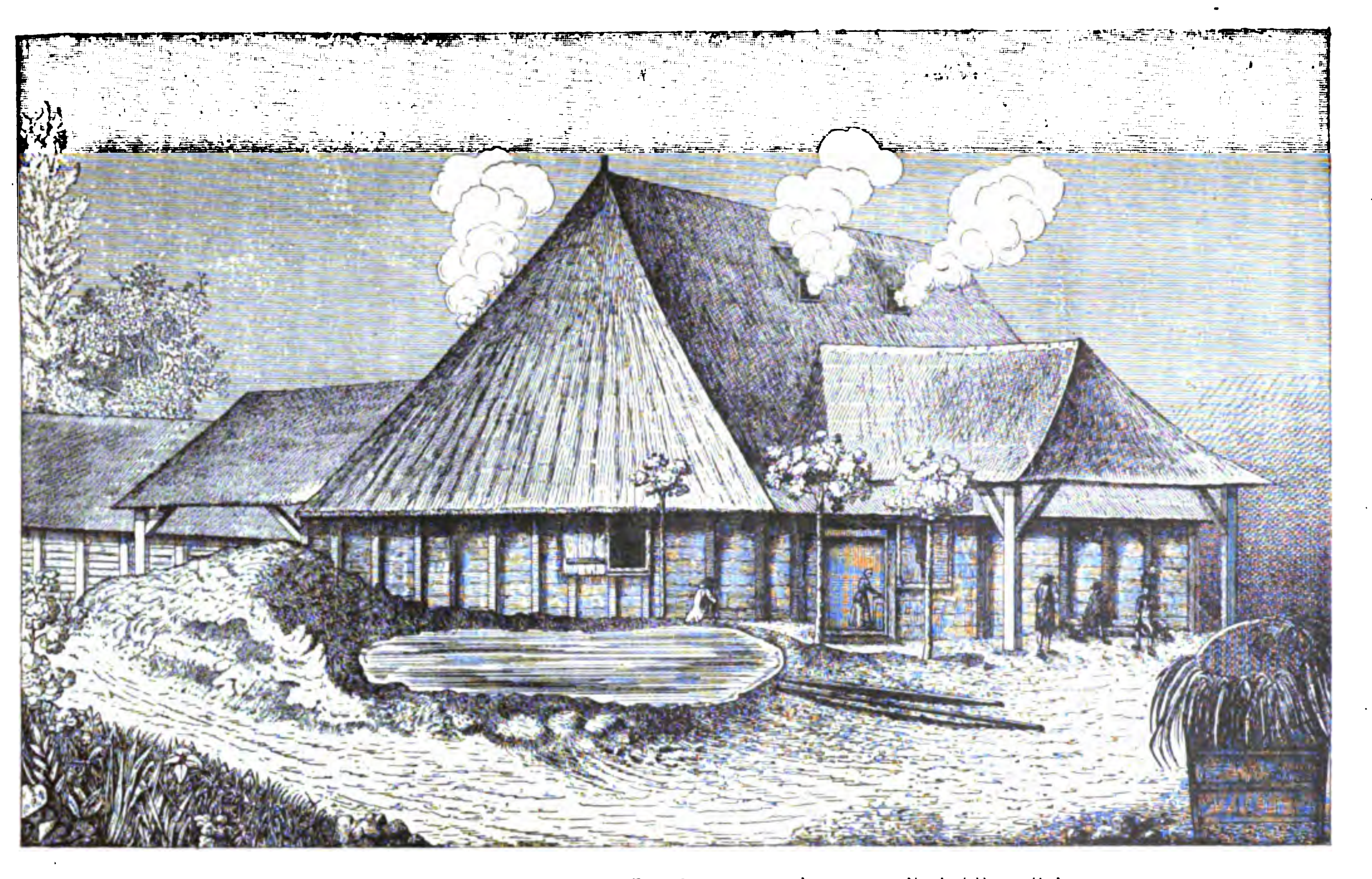
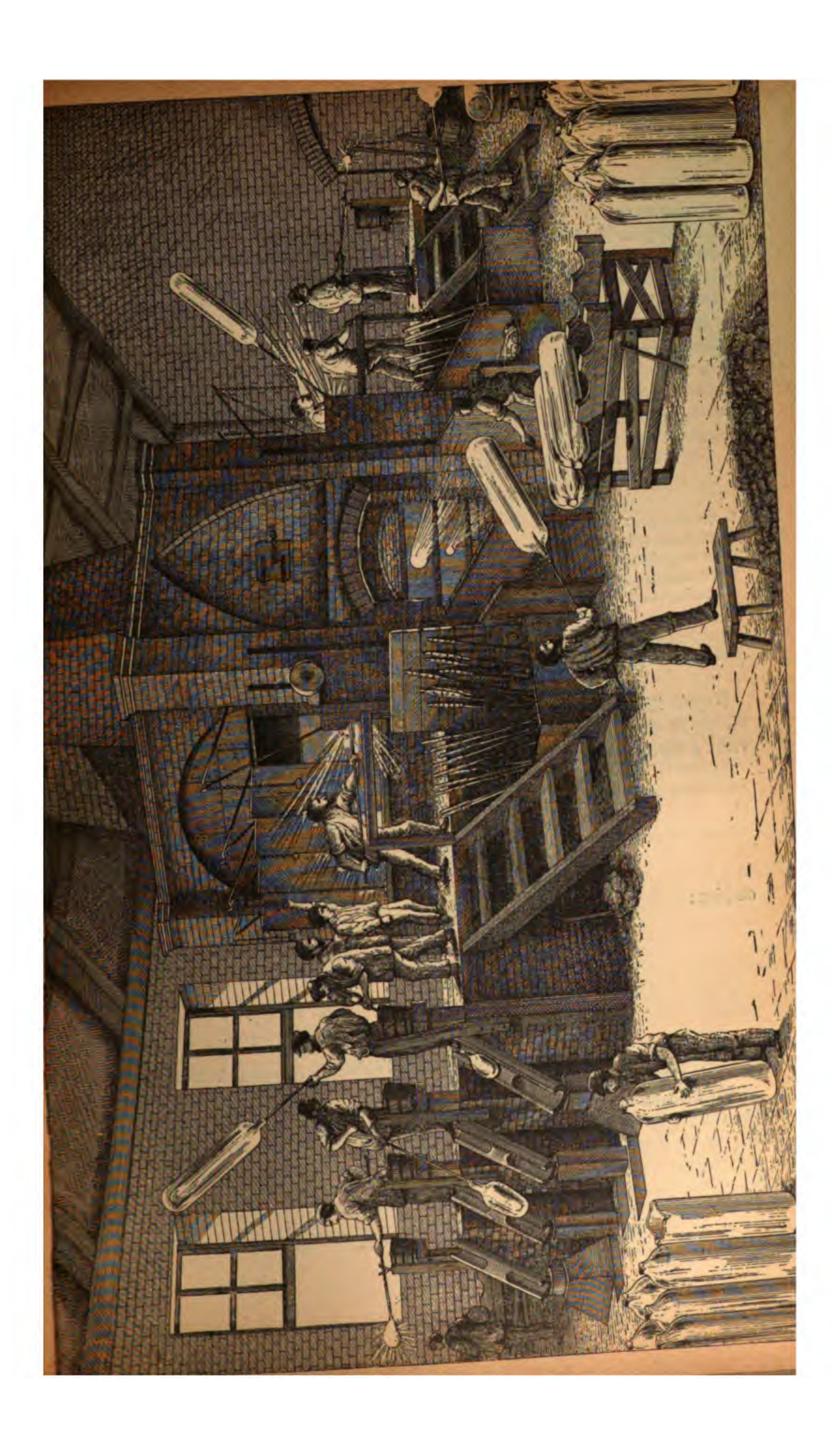


FIG. 200. — Halle de fusion et de chauffage du verre en plateaux au dix-huitième siècle.



Le verre à vitres blanc est le plus généralement employé ; ses applications sont assez connues pour qu'il soit inutile de les énumérer ici. Qu'il nous suffise de dire que pour les vitrages des appartements, les devantures de magasins, etc., les glaces lui font une concurrence redoutable qui viendra certainement restreindre ses applications. Pour la couverture des serres, marquises, verandahs, etc., le verre coulé à la poche lui dispute également ces applications.

Quoi qu'il arrive, son emploi est encore fort important, on en jugera au chapitre de statistique sur la verrerie.

Le verre à vitres est composé de silice, d'alcalis (soude ou potasse, et souvent soude et potasse réunies), de chaux ou de matières étrangères, apportées par les matières premières dont la pureté n'est pas absolue. Cette composition est assez variable :

	Silice.	Chaux.	Oxyde de fer, alumine et oxyde de manganèse.	Soude.	Potasse.
Verre allemand 1872	72,25	13,40	1,23	13,02	»
Verre belge (Charleroi)	73,31	13,24	0,83	13,00	»
Verre anglais 1859	70,71	13,38	1,92	13,25	»
Verre anglais (de MM. Chance, de Birmingham)	72,90	13,20	1,50	12,40	»
Verre français	71,90	13,60	1,40	13,10	»
Verre français	69,60	13,40	1,80	15,20	»
Verre blanc à base de potasse	71,20	11,60	0,70	2,30	14,2

D'après l'*Encyclopédie*, les compositions employées à la fin du siècle dernier et au commencement du dix-neuvième siècle étaient formées pour le verre à vitres ordinaire de :

I

Soude d'Alicante ou de Sicile	280 livres.
Sable	500 —
Cendres	200 —
Salin ou potasse	60 —
Saffre	» 1 once 6 gros.

ou bien :

II

Salicor de Languedoc	340 livres.
Sable	440 —
Cendres	200 —
Salin ou potasse	60 —
Saffre	» 1 once 6 gros.

M. Bontemps ramène ces compositions à l'élément commun à tous les verres, le sable, afin d'avoir un terme de comparaison entre toutes ces compositions. De cette façon les mélanges ci-dessus deviennent :

	I.	II.
Sable	100	100
Soude brute	56	77
Cendres	40	45
Salin ou potasse	12	14
Saffre	0,02	0,03

Toutes ces compositions étaient frittées avant d'être enfournées dans les creusets.

Après la découverte du procédé Leblanc pour la fabrication de la soude, les compositions citées précédemment furent remplacées par des mélanges dont voici à peu près la moyenne. Cette composition est celle employée dans les verreries de la Loire, du Nord, en 1820 :

Sable	100
Sel de soude	40
Chaux	20
Arsenic	0,5
Manganèse	0,5

Plus une certaine quantité de verre cassé, verre blanc pour le verre à vitres blanc, verre commun et même débris de bouteilles pour le verre demi-blanc.

Après l'adoption du sulfate de soude en verrerie on adopta le mélange de 1/2 sulfate avec 1/2 sel de soude ; puis enfin le sulfate de soude fut employé seul et dans les proportions suivantes :

	I	II
Sable	100	100
Sulfate de soude	35 à 40	42
Calcaire	25 à 35	34
Charbon en poudre	1,5 à 2	2
Peroxyde de manganèse	0,5	»
Arsenic	0,5 à 1	»
Débris de verre	q. var.	100 à 200

I. — Composition vitrifiable des verreries du nord de la France.
II. — Composition vitrifiable de la verrerie de Bagneaux.

Le prix élevé de la matière alcaline préparée industriellement (carbonate ou sulfate de soude) a amené les verriers à tenter l'emploi de minéraux riches en potasse ou en soude.

Les feldspaths sont très recherchés ; il en est de même d'un minéral connu sous le nom de *granulite*, dont la composition est la suivante :

Silice	69,34
Peroxyde de fer et alumine	3,56
Chaux	1,34
Magnésie	1,00
Alcalis	23,36
Perte par calcination	1,40
	100,00

On en obtient paraît-il d'excellents résultats.

La quantité de sulfate de soude et celle de charbon à ajouter aux mélanges vitrifiables dépendent de diverses causes, qui sont principalement : la température des fours, la qualité des charbons et par conséquent l'état plus ou moins réducteur de l'atmosphère du four. En général un verrier fera bien de ne *pas modifier ses compositions* quand il les aura adoptées. La seule modification consistera dans les changements du charbon, puis dans la manière de diriger son four. Le saffre (oxyde de cobalt impur) que nous avons vu employer dans

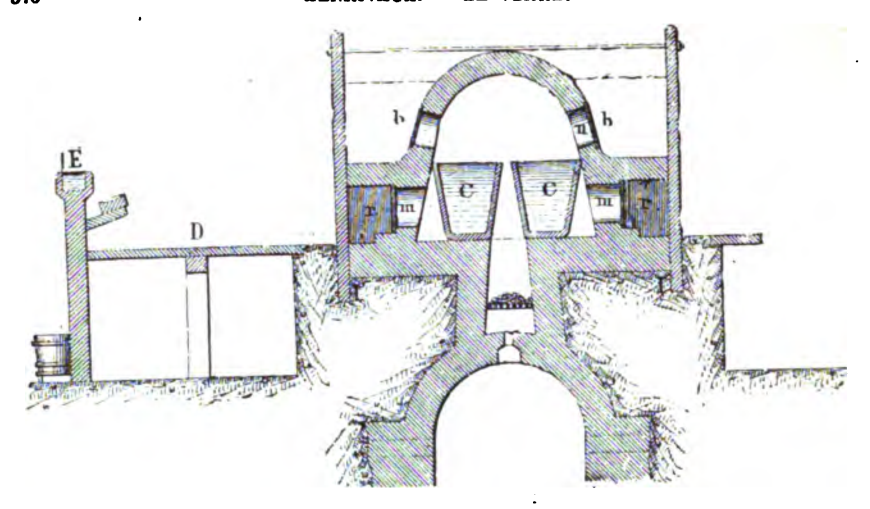


Fig. 201. — *bb*, ouvreaux de chargement des matières et de *cueillage* du verre; CC, creusets; D, plancher en bois posé sur maçonnerie et sur lequel se tiennent les souffleurs, à 3 mètres au-dessus du sol.

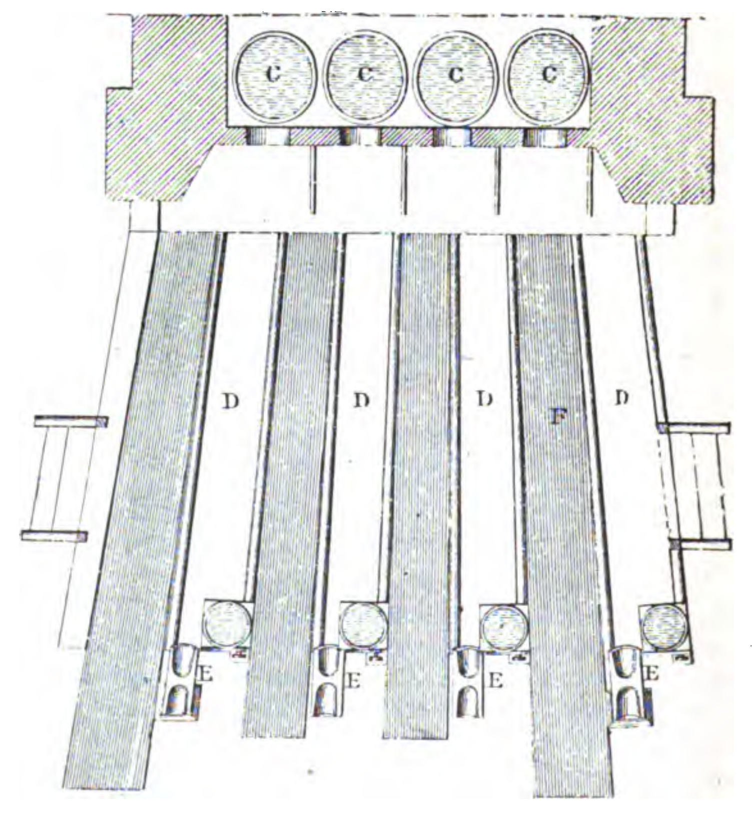


Fig. 202. — F, fosse pour permettre le balancement des cylindres; E, moules en bois destinés à permettre d'arrondir le cueillage.

les compositions indiquées ci-dessus, avait pour but de donner au verre une légère teinte bleutée, qui vient annihiler la teinte brun verdâtre communiquée au verre par les sels de fer au minimum d'oxydation.

Nous n'insisterons pas ici sur les mélanges vitrifiables, sur les appareils employés pour leur confection, nous reviendrons sur cette question au chapitre des

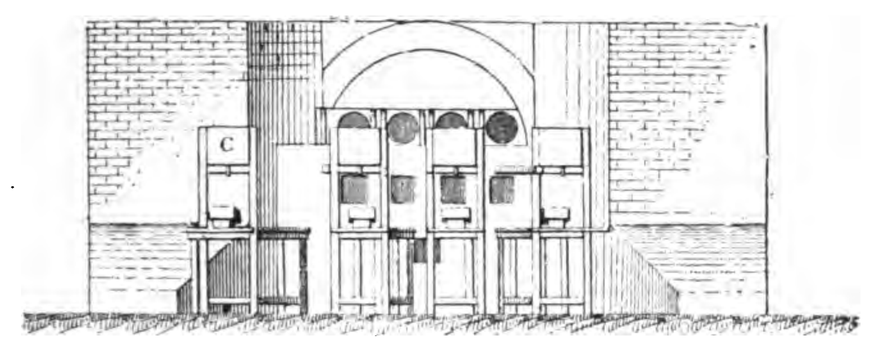


Fig. 203.

glaces. A cet endroit de notre travail nous traiterons la question du travail du verre et son affinage.

La *halle*, qui abrite le four et ses dépendances, — arches, four à recuire ou à étendre, — est un bâtiment de forme spacieuse ayant environ 20 mètres de

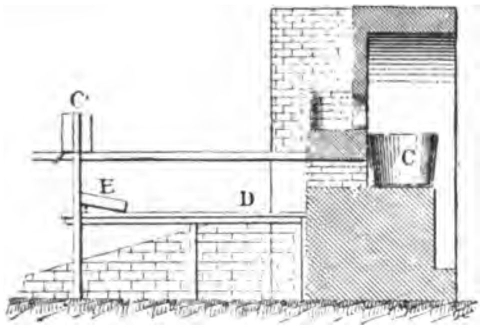


Fig. 204.

côtés ; les charpentes sont généralement construites en fer, elles sont élevées afin de permettre un travail facile aux verriers, leur donnant un cube d'air suffisant. Les fours contiennent généralement 6 ou 8 creusets ronds, contenant environ 600 kilogrammes de verre. Les arches, ou fours à cuire les creusets, sont construits dans la halle, à proximité du four.

Le dessous de la halle est voûté ; la partie qui correspond au four placé à l'étage supérieur contient les *galeries* qui communiquent avec l'extérieur, s'étendent sous les grilles et leur fournissent l'air nécessaire à la combustion.

Les autres parties de ce sous-sol sont réservées à la fabrication des creusets, ou à la préparation des compositions vitrifiables, quelquefois même elles servent de magasins pour les terres réfractaires ou d'autres matières premières.

Les fours les plus usités sont ceux à huit creusets de la forme dont nous don-

nous ci-après une coupe, avec une partie plane du même four, et des places de travail.

M. Bivort, maître de verrerie à Jumet (Belgique), a introduit le premier dans ses verreries le chauffage par le gaz. M. Bivort possède actuellement le four Siemens, dans lesquels la fusion et le soufflage s'opèrent au moyen de du gaz et de l'air chaud avec régénération.

Nous avons vu des fours semblables à Sulzbach, chez M. Vopélius' et il en existe en France dans les verreries du bassin de la Loire ; à Bagneaux, chez M. Bernard, à Aniche, chez M. Delille, chez M. Renard, etc... On a appliqué aussi dans certaines verreries le chauffage par le gaz aux étenderies.

Fabrication du verre en cylindres. — Le verre étant fondu, affiné, amené par un refroidissement convenable à l'état de consistance pâteuse, le travail commence. Chaque place est desservie par un souffleur et un aide qu'on désigne dans toutes les verreries, sous le nom de *gamin*.

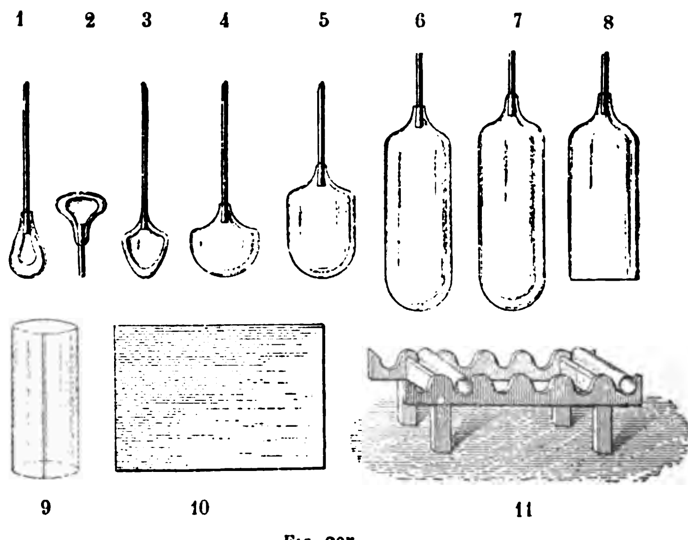


Fig. 203.

Le travail du verre se fait en soufflant le verre avec la *canne* qui a 1^{m},60 à 2 mètres.

D'autres outils sont encore nécessaires aux verriers ; ce sont : une palette en fer de 0^{m},15 de long sur 0^{m},06 de large, avec un manche de 0^{m},14, servant à poser le verre au début du travail ; des ciseaux employés pour découper le verre quand il est à l'état plastique ; des pincettes pour le travail des pièces de gobeletterie, souvent les tranches de cette pièce sont en bois. Quelques blocs en bois de poirier, de pommier ou de hêtre, creusés en forme de cuvette, servent à souffler la *boule* du manchon : on a soin de mouiller ces blocs avant d'y passer la boule.

La canne étant bien propre, bien exempte du verre provenant d'un travail antérieur, est chauffée à la température du rouge sombre au petit ouvreau ; le souffleur la plonge dans le creuset ; ayant ainsi enverré le bout de la canne il

la tourne appuyée horizontalement sur une fourche placée auprès des blocs de bois destinés à donner la première forme C′, cela jusqu'à ce que le verre se soit assez épaissi pour adhérer fortement après la canne. Pendant ce temps l'ouvrier souffle un peu dans le tube, afin de produire une pétite cavité et afin d'éviter l'obstruction du tube. L'ouvrier cueille ensuite une seconde fois du verre, le laisse refroidir un peu, il en prend une troisième, une quatrième fois, jusqu'à ce qu'il se trouve à l'extrémité de la canne une quantité de verre suffisante pour la confection du manchon.

Jusqu'au troisième cueillage le travail est fait par le gamin, le quatrième cueillage est fait par l'ouvrier souffleur, qui, à l'aide de la palette décrite ci-dessus, *pare* la masse du verre, puis la souffle en la mabrant dans le bloc, posé sur le devant de sa place. Le souffleur réchauffe fortement cette masse de verre, et, élevant verticalement la canne en l'air, lui fait prendre la forme n° 2.

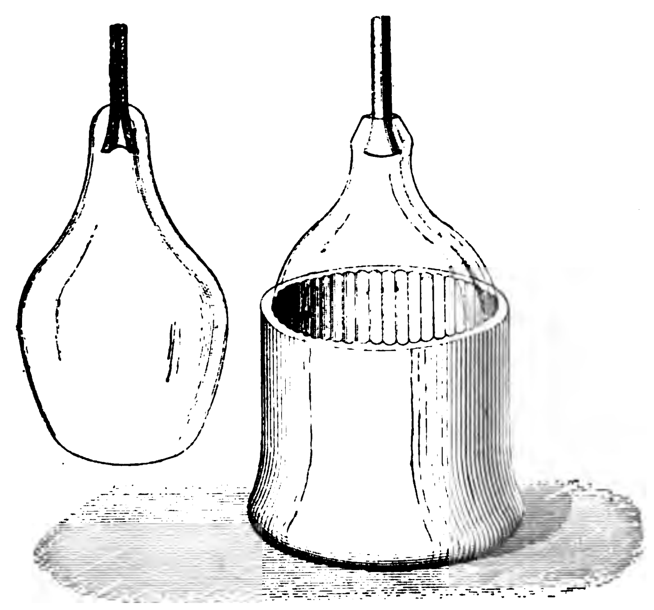


Fig. 206 et 207.

Le fond de cette pièce est réchauffé à l'ouvreau et cette pièce est amenée successivement aux formes 3, 4, 5 en soufflant fortement, tout en donnant à la canne un mouvement de pendule. La masse vitreuse sous ces deux actions s'allonge et prend une forme cylindrique. Le souffleur réchauffe encore la portion hémisphérique, recommence à souffler et à faire osciller la canne pour amener le cylindre à la longueur voulue de 5 à 6 mètres. On ouvre alors la portion sphérique qui termine le cylindre; pour cela le souffleur porte la pièce à l'ouvreau, de façon à ramollir l'extrémité sphérique : quand elle est suffisamment chaude, elle est percée à l'aide d'une pointe de fer. Par le balancement, l'ouverture s'agrandit, on régularise la pièce avec la palette et en faisant tourner rapidement sur elle-même.

La confection d'un cylindre ouvert à son extrémité et fixé à la canne a lieu en huit à neuf minutes. On peut aussi couper la dernière sphère qui termine le cylindre, comme l'indique le n° 8, mais on a ainsi plus de déchet.

Pour la fabrication des grands cylindres on se sert d'un petit appareil qui est un auxiliaire précieux, la *pompe de Robinet*, que nous décrirons au chapitre de la fabrication des bouteilles.

Le cylindre, devenu rigide, est posé sur un chevalet en bois 11. On touche avec une tige de fer froide le nez de la canne ; celle-ci se détache aussitôt de la pièce de verre dont la calotte est enlevée en enroulant un fil de verre très chaud et en touchant la partie ainsi chauffée avec un fer froid.

On a donc ainsi sur le chevalet un manchon ouvert aux deux extrémités ; on le fend dans le sens de la longueur en promenant intérieurement, sur la même arête, une tige de fer rouge ; un des points chauffés étant mouillé avec le doigt, le cylindre s'entr'ouvre.

Il est préférable de passer un trait de diamant à l'intérieur du manchon, cela en fixant le diamant à l'extrémité d'une tige, en se guidant le long d'une règle pour passer le trait.

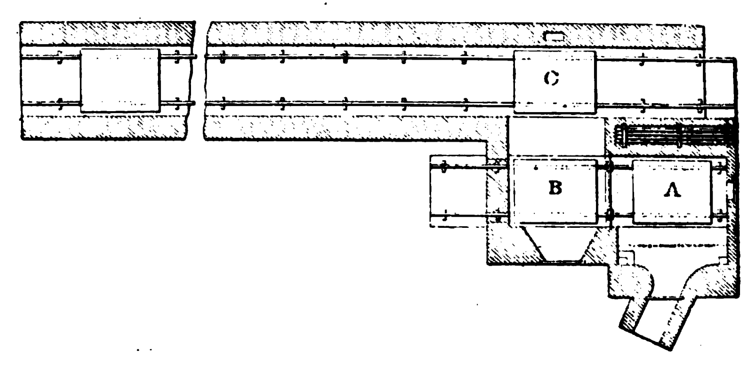


Fig. 208.

Les verres à vitres cannelés se font exactement de la même façon, avec cette différence qu'au commencement du travail, quand la paraison présente la forme allongée d'une poire épaisse, on la souffle dans un moule en fonte ou en bois qui imprime les cannelures ; celles-ci se reproduisent sur le verre et se conservent pendant la fin du travail (fig. 207).

Les manchons étant fendus dans le sens de leur longueur, il s'agit de les étendre, de les développer sur une surface plane de manière à en faire des carreaux de vitres.

Les fours à étendre sont de plusieurs sortes :

Le four dit à *pierre fixe* donne des verres *griffés* et de mauvaise planimétrie.

Les fours à pierres tournantes ont le même défaut. On emploie plus généralement le four à *pierres roulantes* ; voici la description qu'en donne Peligot (1).

(1) *Le Verre*, son histoire et sa fabrication, par E. Peligot, édité chez M. G. Masson. Paris 1867. — *Douze leçons sur l'art de la verrerie*, par le même auteur, chez Eug. Lacroix, éditeur.

Dans ce four ou *stracou*, le verre est étendu sur la plaque mobile A, les manchons arrivant par la galerie qui débouche dans ce compartiment du four. La plaque, munie de sa feuille de verre, est poussée sur les rails dans l'autre partie du four qui est moins chaude ; elle y occupe la place B. Le verre étant assez froid, on l'enlève avec une longue fourche en fer et on le dépose à plat sur un chariot en tôle C, qui reçoit huit à douze feuilles. Ce chariot se meut également sur des rails dans une galerie à recuire d'une longueur de 15 à 20 mètres. Les chariots sont reliés les uns aux autres par des crochets ; ils entrent vides par l'ouverture placée près de la grille, sont chargés en G, et sortent pleins et froids à l'autre extrémité.

Le four à pont mouvant de M. Segard, d'Anzin, se compose essentiellement de deux chariots, qui portent chacun une pierre à étendre. La disposition générale du four étant la même que celle représentée figure 209, le dessin ci-contre ne donne que les deux pierres roulantes et le mécanisme pour les manœuvrer.

Le chariot A, portant sa pierre à étendre, se meut sur des roues fixes au moyen de rails qui y sont adaptés. Le chariot B, qui a aussi sa pierre, se trouve à 15 centimètres au-dessous du chariot A, sous lequel il doit passer ; il se meut au moyen de ses roues.

Pour étendre les canons, on renvoie le chariot B dans le four à refroidir ; on fait l'étendage sur le chariot A. Aussitôt qu'il est terminé, on pousse ce chariot avec un crochet dans le second compartiment. Le chariot B revient ; avec un levier en fer C, on l'élève de 15 centimètres avec la plate-forme sur laquelle il est venu se placer.

On y place le canon à étendre ; pendant qu'il s'ouvre, on enlève avec une fourche, la feuille qu'on vient d'étendre, pour la poser sur un chariot en tôle qui se trouve dans la galerie contiguë.

Le nouveau manchon étant étendu, on abaisse le chariot sur ses rails, on le renvoie dans le four à refroidir, et on amène par-dessus le chariot supérieur A sur lequel on étend une autre feuille de verre.

Par ce système on étend 600 canons par vingt-quatre heures, avec une consommation de 10 hectolitres de houille ; ce travail est fait par deux étendeurs, deux tireurs de chariot et deux gamins. La dépense est moitié de ce qu'elle est avec le four à une seule pierre roulante.

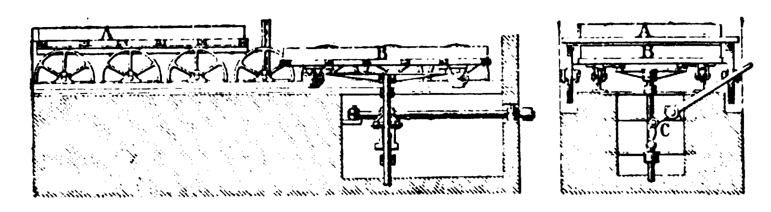


Fig. 209.

M. Binet, de Sèvres, dispose au-dessus de la pierre à étendre un plateau mobile en terre réfractaire, s'élevant et s'abaissant au moyen d'un bras de levier et d'une tige qui traverse la voûte. Le poid de cette plaque rend le verre bien plan. Ce mode d'opérer est surtout avantageux pour les verres doubles et pour

les glaces soufflées : pour polir ces verres on n'enlève que le quart de leur épaisseur ; on enlève le tiers ou la moitié quand le verre est étendu dans les autres fours.

On obtient, paraît-il, un très beau poli des manchons en employant le procédé suivant préconisé et breveté par la Société the Glasgow Plate glass Company.

Au lieu des polissoirs en bois ordinairement employés, on fait usage d'une boîte en métal ou autre matière incombustible à travers laquelle un combustible gazeux ou en poudre est amené en passant par des orifices percés au fond, et sert de lubrifiant entre le verre ramolli et la boîte que l'on déplace sur le verre à l'aide d'un manchon approprié.

La boîte peut être plate, cylindrique ou d'une autre forme. Au lieu d'une boîte on peut employer une planche plate sous laquelle ou au travers de laquelle le combustible en poudre est amené pour servir de lubrifiant.

On peut employer de l'huile, de la graisse, de la résine ou tout autre hydrocarbure en remplacement du gaz.

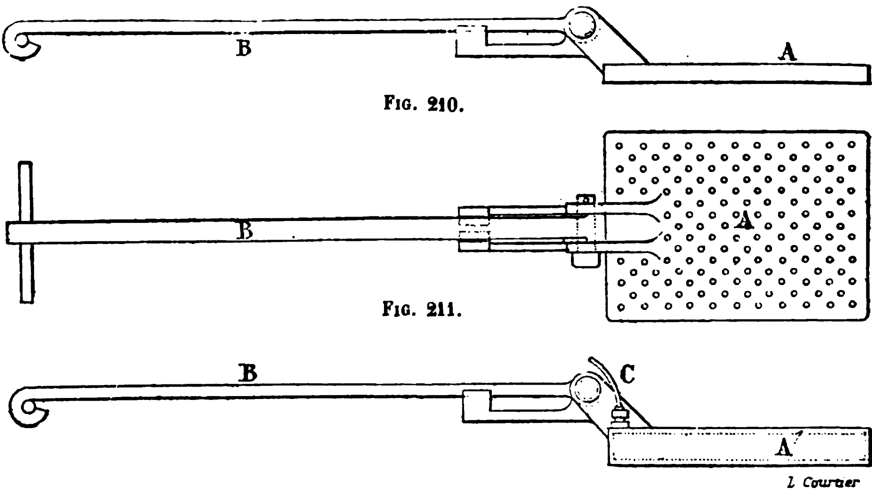


Fig. 210.

Fig. 211.

Fig. 212.

La figure 210 est l'élévation latérale d'un polissoir en forme de planche plate métallique, la figure 210 en est le plan et la figure 211 est l'élévation latérale d'une variante dans laquelle la planche est remplacée par une boîte.

A la planche A est articulé ou fixé un manche ou tige B, de forme convenable, au moyen de laquelle on fait aller et venir la planche à la surface du verre, tandis que le lubrifiant en poudre est répandu sur le verre ou projeté à travers les trous *a* de la planche.

Le lubrifiant qui devient gazeux sous l'action de la chaleur empêche tout contact rugueux qui pourrait rayer la surface du verre.

Lorsque le polissoir a la forme d'une boîte telle que A' (fig. 212), le lubrifiant qui peut être une matière charbonneuse en poudre ou un hydrocarbure est placé à l'intérieur de cette boîte et passe à travers les trous *a* du fond.

Si l'on emploie un lubrifiant gazeux, il peut être amené ou refoulé par un tube flexible pénétrant dans la boîte comme on le voit en C, d'où il s'échappe par les trous *a*.

Four à étendre, système Biévez. — Il existe un système de four à refroidir le verre à vitres imaginé par M. de Biévez, de Haine-Saint-Pierre (Belgique); les avantages de ce four, constatés par de nombreuses applications, tendent à remplacer par ce système tous les fours à étendre précédemment employés. L'idée de Biévez consiste à faire mouvoir sur tringles métalliques et par ces tringles, les feuilles de verre aplanies sur l'aire d'un four à réverbère. M. Casimir Lambert, de Charleroi, le verrier si distingué et si connu, a rendu cette idée réellement pratique en y adaptant des fours spéciaux munis de mécanismes ingénieux, en y adoptant enfin le chauffage par le gaz.

Dans les anciens fours à étendre, chaque feuille de verre subissait un double transport dans lequel le verre, se déformant plus ou moins, reprend rarement sa surface plane; c'est là un inconvénient qui n'existe pas dans le four Biévez.

L'appareil se compose du four proprement dit et d'une série de cadres ou châssis verticaux, pouvant se mouvoir dans un plan vertical. Ces cadres sont guidés par des coulisses en fonte fixées, de part et d'autre, dans la maçonnerie du four, et leurs côtés supérieurs qui s'élèvent au-dessus de la voûte, sont reliés entre eux par une barre longitudinale; ils sont équilibrés par des contrepoids, de telle sorte qu'il suffit d'un léger effort pour les faire mouvoir. Les côtés inférieurs portent des galets, dans la gorge desquels reposent des tringles parallèles en fer; les extrémités de ces tringles se prolongent jusqu'à l'ouverture du four, où elles sont réunies par une traverse, qui permet, par une simple traction, de leur imprimer à toutes, en même temps, un mouvement de translation horizontal; à l'état de repos, les tringles et les galets sont logés dans les rainures pratiquées dans la sole du four, laquelle sole est formée d'une quantité de pièces réfractaires posées bout à bout. Voici la disposition de ce four :

Fig. 1 (213).— Section longitudinale partielle suivant la ligne I et II de la figure 2.

Fig. 2 (213). — Section horizontale suivant la ligne III et IV de la figure 1.

Fig. 3 (213). — Section transversale suivant la ligne V, VI de la figure 2.

A. Four à refroidir.

B. Chariot ou châssis verticaux mobiles, disposés perpendiculairement au grand axe du four.

D. Coulisses dans lesquelles se meuvent les montants des cadres C.

E. Contrepoids servant à équilibrer les cadres C.

F. Barre longitudinale reliant les côtés supérieurs de tous les cadres.

G. Chaîne de manœuvre à l'aide laquelle on soulève, d'un seul coup, tous les cadres.

H. Galets fixés aux côtés inférieurs des cadres.

I. Tringles parallèles reposant dans les gorges des galets H, et se logeant dans des rainures disposées dans la sole du four.

J. Traverse réunissant, en dehors du four, toutes les tringles I, et servant à les tirer d'un seul coup, comme l'indique le ponctué de la figure 2.

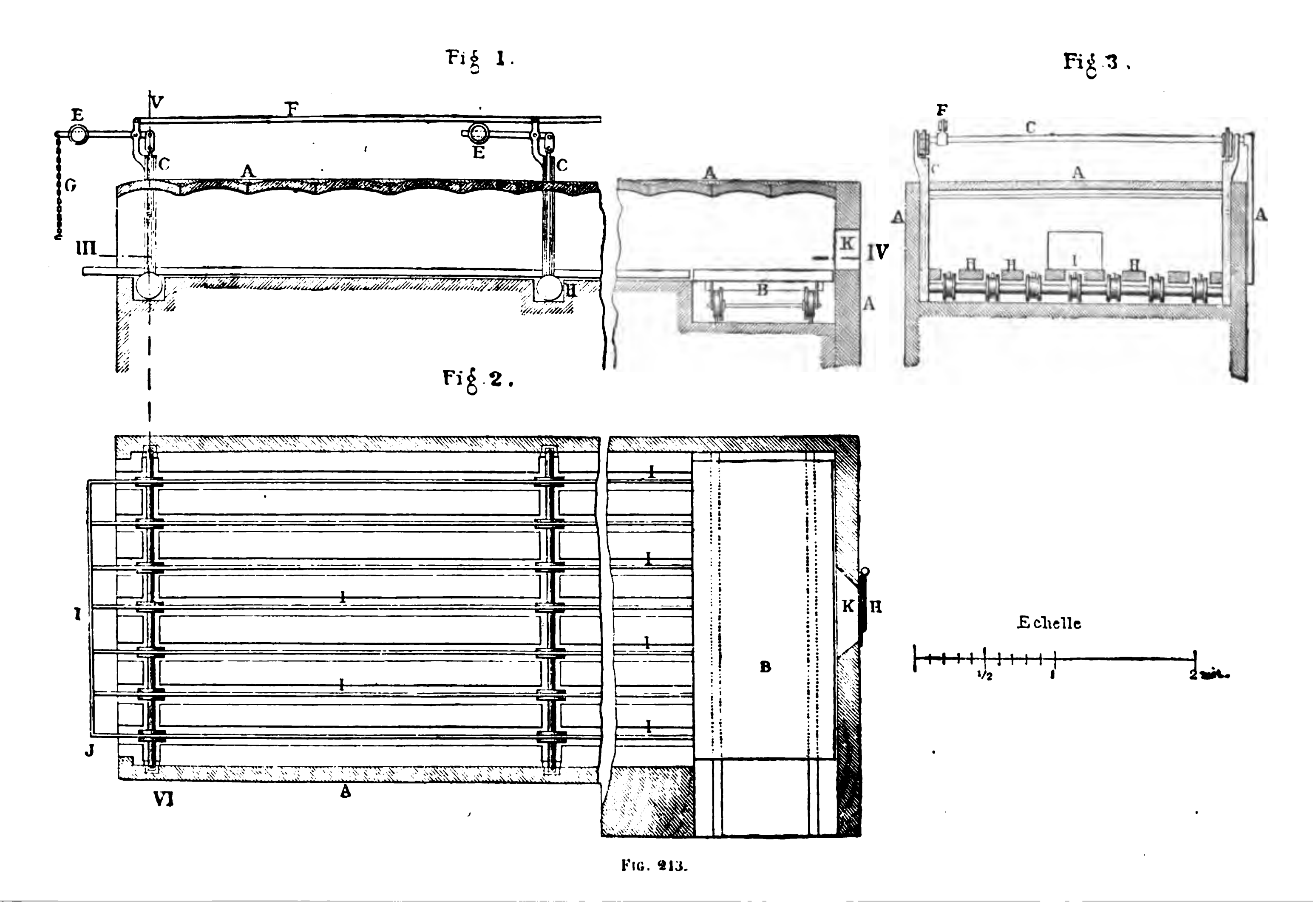


FIG. 213.

K. Ouverture pour la manœuvre des feuilles de verre.

Cela exposé, voici comment on opère.

Le chariot B ayant amené une première feuille de verre, l'étendeur se rend à l'ouverture K et, au moyen d'une courte fourche, fait glisser la feuille sur la sole du four, en lui faisant occuper la première des neuf places qu'elle doit successivement parcourir. Dès que le chariot amène une seconde feuille, un aide agit sur la chaîne de manœuvre G, et lève, d'un seul coup, tous les cadres ou châssis, ainsi que les tringles I; par suite de ce mouvement, la première feuille de verre se trouve soulevée et, dans cette nouvelle position, elle est soutenue par l'espèce de grillage que forment les tringles. Pendant qu'elle est ainsi soulevée, on imprime, à l'aide de la traverse J, un mouvement de traction aux tringles en les faisant glisser sur les galets H, de manière à faire avancer la feuille de verre d'une quantité un peu supérieure à sa largeur; puis, abandonnant, peu à peu, la chaîne de manœuvre G, on laisse redescendre, lentement, tout ce système sur la sole, et l'on n'a plus qu'à repousser les tringles, qui, logées de nouveau dans leurs rainures, reviennent en place sans entraîner la feuille, qui se trouve ainsi amenée à sa deuxième position. La place est alors faite à la seconde feuille, et l'étendeur peut la faire glisser du chariot sur la sole du four. Dès que cette seconde feuille est introduite, on manœuvre l'appareil comme précédemment, c'est-à-dire qu'on fait place à la troisième feuille, tout en faisant avancer les deux premières, et ainsi de suite. De cette manière, chaque feuille chemine, successivement, d'une quantité à peu près égale à sa largeur, et parcourt, ainsi, en neuf fois, toute l'étendue du four pour arriver à la sortie après s'être refroidie graduellement.

Ce système de refroidissement n'exige, pour chaque feuille, que vingt-cinq à trente minutes au lieu de sept à huit heures que demande l'ancien mode d'opérer. Non seulement la recuisson est suffisante, mais la coupe du verre est d'une régularité et d'une facilité bien plus grandes. En effet, les soulèvements successifs de chaque feuille sur des tringles minces, permettent un refroidissement à peu près uniforme sur les deux faces.

Fabrication du verre en plateaux. — Comme nous l'avons dit plus haut, cette fabrication, abandonnée en France, n'est plus guère usitée qu'en Angleterre. Voici comment M. Chance, le grand fabricant de Birmingham, rend compte de cette opération :

« Lorsque le verre a été amené de l'état de fluidité absolue à celui d'une consistance qui permette de le travailler, l'ouvrier chargé de cueillir le verre plonge sa canne dans le creuset, au milieu de l'anneau, en la tournant sur son axe pour égaliser l'épaisseur de la masse cueillie, il enlève à l'extrémité, sur le *nez*, comme on l'appelle en termes techniques, une masse de verre présentant la forme d'une poire. Posant alors sa canne sur un chevalet, il la tourne doucement, et laisse la surface se refroidir de manière à pouvoir cueillir une deuxième quantité de verre. Lorsque la masse est à la grosseur convenable, l'ouvrier après avoir refroidi sa canne dans un auget plein d'eau de manière à pouvoir la tenir à la main, commence à rouler le verre sur le *marbre* ou lit métallique, jusqu'à ce qu'il prenne une forme conique, le sommet du cône formant le bouillon

(fig. 214). Un gamin souffle alors dans la canne, pendant qu'on marbre encore le verre, et lui fait prendre ainsi la forme d'un flacon florentin, et l'on prépare le rebord que doit plus tard présenter la feuille développée, en roulant la pièce près du nez de la canne, sur l'extrémité du marbre. On chauffe encore la masse, et le souffleur lui fait prendre la forme d'un grand globe. Pendant ce développement, il est nécessaire de maintenir le bouillon exactement dans la position qu'on lui a d'abord donnée, c'est-à-dire sur une ligne qui coïncide avec l'axe de la canne. Pour y parvenir, le souffleur maintient sa canne sur un support en

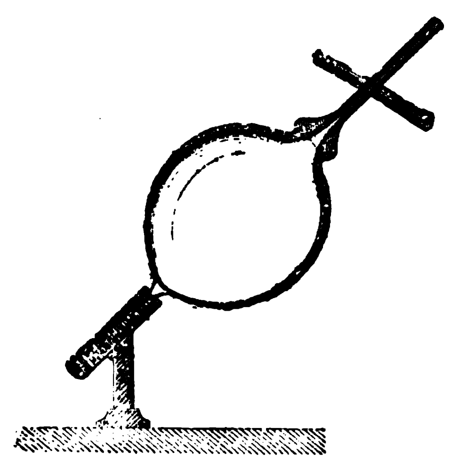


Fig. 214.

fer, et, tandis qu'il souffle la masse et la tourne à la fois, un gamin maintient contre le bouillon une pièce de fer qui se termine sous la forme d'une petite capsule. On présente alors au feu de nouveau, et là, par un tour de main de l'ouvrier et en dirigeant la flamme d'une certaine manière sur le globe, on aplatit le front de celui-ci; on évite, d'ailleurs, qu'il ne s'écrase pendant



Fig. 215. Fig. 216.

cette opération, en faisant faire à la canne une révolution rapide sur son axe. La pièce ressemble alors à un énorme vase à décanter, dont le fond serait très plat et le col très court. Le bouillon peut encore se voir au centre du fond plat, et c'est alors que l'on se rend compte de son utilité. La canne est maintenue horizontalement sur un chevalet en fer; un ouvrier s'approche tenant à la main

une longue baguette en fer appelée *pontil*, munie, à son extrémité, d'une petite masse de verre fondu. Il presse cette masse contre une pointe en fer, de manière à lui donner la forme d'une petite capsule, puis l'applique, quand elle en a pris la forme, sur le bouillon, où elle adhère bientôt solidement. La masse ainsi formée prend le nom d'*œil de bœuf* ou *bouillon* (fig. 215). Une incision faite au verre, près du nez de la canne, avec un morceau de fer froid, et un souffle vigoureux, détachent bientôt la canne, qui quitte alors la pièce; on la laisse reposer quelques instants jusqu'à ce que le verre qui y est resté adhérent se soit fendillé (fig. 216).

» L'extrémité de la pièce qui se trouvait près de la canne, qui maintenant est détachée, se nomme le *nez*, et c'est elle qui a donné son nom au fourneau ou *trou de nez* devant lequel on la chauffe pour l'opération suivante.

» Le verre arrive alors à sa dernière et plus terrible épreuve. Il est placé entre les mains d'un homme qui, un voile sur la figure, se tient droit devant un immense cercle de flamme (fig. 217), dans lequel il enfonce sa pièce, tout en tournant rapidement son pontil. L'action de la chaleur et de la force centrifuge combinées se montre bientôt. Le nez de la pièce s'étend, les parties qui en sont

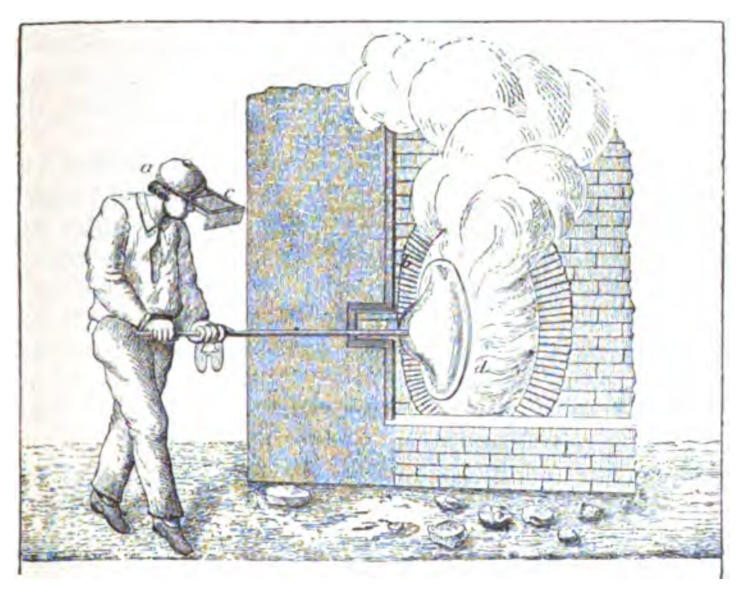


FIG. 217.

proches ne peuvent échapper à ce mouvement : l'ouverture devient de plus en plus large ; un instant la vue saisit au passage la figure d'un cercle avec un double rebord. Un instant après le spectateur étonné voit tournoyer devant ses yeux une table circulaire de verre qui, quelques minutes auparavant, gisait dans le pot de verrerie, sans que rien la distinguât du reste de la masse. »

Ces disques ont ordinairement 1m,50 de diamètre.

Excepté le centre du plateau auquel adhère le pontil, qui présente un bourrelet, l'épaisseur de cette pièce est uniforme.

Ce disque ou plateau posé sur une aire recouverte de cendres chaudes, est détaché du pontil (comme cela a lieu pour détacher le manchon de la canne), puis avec une longue fourche enfourné horizontalement, et dressé dans le four à recuire. Après recuisson et refroidissement, ces plateaux sont découpés au diamant. La planche XXII rend compte de ces diverses opérations.

FABRICATION DES VITRES PAR LAMINAGE.

Il y a environ vingt-cinq ans, William Clarke, de Pittsburg, essaya de fabriquer du verre à vitres en le laminant dans des appareils analogues à ceux qui sont employés dans la fabrication du fer et de l'acier.

Cet essai n'eut aucun succès, parce qu'en passant par les cylindres le verre se refroidissait rapidement et devenait cassant.

Ce procédé vient de devenir pratique par suite de l'emploi du gaz. On fait usage de cylindres creux et fixes dans l'intérieur desquels arrive constamment un courant de gaz chaud.

La masse de verre, après le laminage qui la transforme en feuille, passe sur une table en fer qui est également chauffée par un filet de gaz, puis enfin dans le four à recuire, de sorte que, pendant toute l'opération, elle n'est soumise à aucun refroidissement total.

Les verres à vitres sont sujets à une altération de leurs surfaces, l'irisation. On a attribué à une action physique ce phénomène de coloration superficielle ; l'action est purement chimique, puisqu'en soumettant les feuilles de verre à un traitement particulier on évite la particularité de ce phénomène. Ce traitement, dû à M. Léon Renard, consiste à plonger les feuilles de verre, à leur sortie des fours à étendre, dans un bain d'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, dans la proportion de 1 à 2 pour 100. Selon M. Bernard, de Bagneaux, l'immersion successive du verre dans deux bains d'eau sans acide, mais à des températures différentes entre elles, — froide d'abord et ensuite à 60 degrés par exemple, — prévient aussi l'irisation.

Nous avons vu dans un chapitre précédent que l'irisation artificielle est obtenue en soumettant le verre chaud à une atmosphère chargée de chlorures volatilisés ; or le sulfate de soude employé en verrerie contient presque toujours du chlorure de sodium indécomposé. On est donc porté à croire que ce chlorure de sodium n'est pas sans action sur la production du phénomène. Quoi qu'il en soit, beaucoup de verriers, notamment la Société des verreries et glaces d'Aniche, prétendent éviter l'irisation de leurs verres en employant du sulfate de soude contenant 1 pour 100 d'acide sulfurique libre, c'est-à-dire en excès, et non associé aux autres bases.

Depuis l'introduction des fours à bassins, on constate fréquemment la formation, au moment du soufflage, d'anneaux produits sur une partie du canon par la brûlure du gaz. Ces anneaux qui ont de 100 à 125 millimètres de long s'impriment dans le verre, sur toute la partie qui entre dans le four, lorsque le canon est rentré dans l'anneau pour la dernière fois.

Leur bord est net et circulaire. Plus le four et les chambres d'empilage sont vieux, plus cet enfumage est apparent; dans un four neuf, il faut au contraire un œil très exercé pour discerner cette tache uniforme que le platissage ne fait qu'augmenter.

Avant l'étendage, la tache s'enlève facilement par un lavage et un frottage du canon au moyen d'un linge propre. Malheureusement, ce frottage complet n'est pas possible en pratique : les gamins de stracou l'exécutent fort rapidement, mais nécessairement de façon incomplète, et les torchons dont ils se servent sont rapidement salis.

Après ce frottement incomplet, le canon est introduit dans le stracou, on remarque alors à la sortie de la feuille platie, que la partie de la tache, qui n'a pas été enlevée, se trouve imprimée dans le verre et ne peut plus être enlevée par un nettoyage, sauf à l'acide fluorhydrique.

Sur les feuilles argentées, la tache est fort visible; on voit nettement la trace du coup de torchon qui a enlevé, avant le platissage, une partie de la fumée qui forme la tache, fumée dont le restant s'est incorporé au verre.

Cet inconvénient ne peut être évité qu'en faisant usage d'ouvreaux spéciaux, sortes de moufles, pour le travail des canons.

Dans les fours ordinaires, on assure qu'il est cependant possible de l'atténuer en faisant en sorte d'avoir pendant le soufflage une atmosphère réductrice dans le voisinage immédiat des ouvreaux de travail.

Verres de montres. — Quand on a laissé refroidir un globe de verre soufflé, on découpe, à l'aide du diamant, et guidé par un verre qui sert de modèle, autant de segments que la circonférence du globe peut en fournir. Les ronds, une fois détachés du globe, reçoivent, au moyen de la meule de grès, le biseau circulaire qui permet au verre d'entrer et de rester maintenu dans la gorge du couvercle de la montre.

Ces verres servent pour les montres épaisses, à cause de leur forte courbure. Pour les verres plats, le verre est plus choisi, souvent même on prend du cristal, on diminue leur trop grande concavité en plaçant chaque rond de verre sur un cylindre dont la partie supérieure est façonnée en portion de globe très aplati. Soumis à la chaleur d'un four à réverbère, ces verres prennent alors la forme du moule sur lequel ils ont été posés. A leur sortie du four il ne reste plus qu'à les polir à l'aide de la potée et à faire le biseau au moyen de la meule. Depuis l'application du soufflage à l'air comprimé, on procède le plus généralement de la façon suivante : On souffle des boules d'un diamètre très considérable, jusqu'à $1^{m},50$, ce qui correspond à une capacité de 1760 litres environ, et c'est dans ces boules, dont la surface ne présente qu'une faible courbure, qu'on découpe les verres. Les verres de pendules se font de même.

Au chapitre des verres d'optique, nous nous étendrons davantage sur la fabrication des verres de lunettes, de jumelles, etc., qui ont certains points de ressemblance avec la fabrication des verres de montres. La composition du verre destiné à la fabrication des verres de montres doit être peu hygrométrique, très dure, afin de résister aux frottements auxquels l'usage les condamne, par conséquent peu alcalins, très siliceux. Ce verre raie le verre blanc de gobeletterie. Voici la composition d'un verre destiné à cette fabrication :

Sable.........................	65
Carbonate de soude.............	17
Carbonate de potasse...........	6
Chaux.........................	10
Azotate de soude...............	2
	100

Pour la fabrication des *globes* en verre ou cylindres de diverses formes, voici comment on les obtient :

Le manchon ayant été amené au point où il ne lui reste plus qu'à être débarrassé de ses calottes, l'ouvrier présente à l'ouverture du fourneau la tête du cylindre pour la ramollir, puis, retournant sa canne le cylindre en haut, il la tient ainsi un instant. L'extrémité du cylindre s'infléchit en dedans, parce que le verre de la partie centrale cède à ce poids. L'ouvrier souffle alors dans sa canne et fait prendre à cette même extrémité une forme bien arrondie.

On détache alors le globe de la canne et on coupe régulièrement l'ouverture de ce dernier manchon, qui est un globe. Pour les globes ovales, on les obtient en soufflant la poire qui sert à fabriquer les manchons de vitres entre deux pièces de bois convenablement écartées et inclinées (fig. 218). Le manchon prend ainsi une forme ovale. Le globe est ensuite coupé régulièrement. Si on souffle la masse de verre dans un moule de bois carré, composé de quatre madriers verticaux, on obtient des globes carrés.

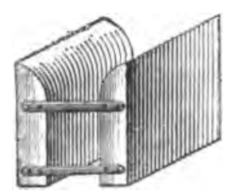


FIG. 218.

Pendant l'opération de l'étendage du verre à vitres, une des faces de la feuille du verre est appliquée contre la sole du four, c'est-à-dire sur une dalle réfractaire, l'autre face est exposée à la flamme ou tout au moins à l'atmosphère du four.

L'action de la chaleur, prolongée outre mesure, peut altérer la constitution de la surface du verre qui devient alors plus riche en silice et perd un peu d'alcali ; si le verre contient une quantité notable d'acide sulfurique, une partie de cet acide se volatilise en même temps que l'alcali, et ce composé, mêlé à un peu de noir de fumée, forme à la surface du verre transporté dans le canal de refroidissement, un enduit grisâtre très mince qui lui donne un aspect mat et trouble d'où il résulte la nécessité de laver les feuilles. Dans ces eaux de lavage on constate parfaitement la présence du sulfate de soude.

Des expériences faites sur du verre *suant*, c'est-à-dire exposé à l'air humide, ont démontré que la face supérieure d'une feuille de vitre, celle qui dans le four

à recuire est opposée à la pierre sur laquelle elle repose, est plus riche en silice, est plus résistante à l'action de l'atmosphère, plus dure, et a souvent plus d'éclat. On devra donc poser les vitres de façon que cette face supérieure des feuilles soit placée à l'extérieur, afin de présenter plus de résistance aux agents atmosphériques. Il n'en est pas de même pour une glace dont les surfaces ont été usées par le travail du doucissage, puis polies ; aussi, si à un verre nouvellement fabriqué on enlève les deux surfaces par les opérations mécaniques du doucissage et du polissage, on constate ensuite que ces deux faces se comportent de la même manière au point de vue de l'*aveuglement*, c'est-à-dire de l'opalescence qui se produira à leurs surfaces en les exposant dans un endroit humide.

M. E. Siegwart, pour démontrer la différence existant entre le verre fraîchement poli et celui dont la surface est décomposée partiellement par l'aveuglement, a enduit d'une manière égale un grand plateau de verre, ayant une tendance à devenir opaque, d'une bouillie de poudre de craie très fine et de glycérine, à la manière dont cela se fait dans la fabrication du verre mousseline, et a laissé sécher. Il a appliqué ensuite sur le plateau son calibre, et brossé en quelques points seulement, comme on le fait pour la décoloration.

La vitre fut exposée en cet état pendant quinze jours dans un lieu sec. Après ce délai, l'enduit fut enlevé et le verre lavé. Il n'y eut point de trace d'un changement quelconque. Mais ayant observé, dans des expériences antérieures sur les caustiques, que les diverses sortes de verres se comportent d'une manière très différente dans le bain caustique, et que même les divers côtés du verre présentent, sous ce rapport, de grandes différences, on a immergé pendant une demi-heure le carreau traité comme on vient de le dire, dans un bain formé de :

Fluorure de fluorhydrate de potassium..	16
Eau..................................	110
Acide sulfurique à 66° Beaumé.........	1,5

Au bout de ce temps, il se produit un dessin très net sur un fond d'un mat plus faible ; le mat fort s'était formé aux points qui avaient été couverts, pendant quinze jours, par la couche de craie. La glycérine les avait maintenus un peu humides, ce qui avait causé la décomposition. C'est là un procédé permettant d'essayer la résistance des différentes sortes de verre à l'action de l'atmosphère.

Verres enchâssés dans le plomb (CULS-DE-BOUTEILLES). — Depuis quelques années, les architectes se servent des vitraux peints, enchâssés dans des baguettes de plomb, comme d'un important moyen de décoration pour les habitations particulières, pour les établissements publics. Cette vitrerie nouvelle, remise à la mode après un siècle d'abandon, permet de faire une économie de tentures et de rideaux, et les *culs-de-bouteilles* qui parfois composent le fond, produisent des effets de clair obscur qui aident à la production d'effets artistiques, ou dans d'autres cas ont l'avantage de fournir un jour plus reposant pour la vue quand on les emploie dans les cabinets de travail, bureaux, etc.

Voici comment on procède pour la pose et l'encadrement de ces vitraux :

Le dessin accepté comme forme et comme tons, à l'aide d'un papier à report, l'ouvrier trace le motif sur un papier fort, puis avec un tire-ligne, détermine les épaisseurs de cœur de plomb, en se tenant à cheval sur le trait (le cœur de plomb est l'équivalent de l'âme du fer I). Ce tracé obtenu, reproduisant exactement le dessin du modèle, l'ouvrier découpe le papier, en ménageant l'épaisseur du trait tracé par le tire-ligne; les morceaux de découpage donnent le contour que devront avoir les pièces du vitrail. On assemble ces morceaux, et, en se servant de chacun d'eux comme de calibres, on coupe au diamant des verres de ton correspondant au dessin. L'ouvrier procède alors à la mise en plomb proprement dite. Pour cela, il assemble les verres sur un calque, sur lequel est reporté le motif calque posé sur une grande table en bois dressée avec soin. Il châsse les verres dans les plombs sur l'angle gauche de la table, où des règles à biseaux destinées à recevoir le plomb extérieur font un angle droit. Quand le panneau est monté, il rabat les ailes du plomb et fait les soudures nécessaires aux intersections. Il ne reste plus qu'à contre-souder le panneau, sur l'autre face, et à mastiquer les plombs.

Il faut éviter les ***charnières***, c'est-à-dire de longues lignes parallèles qui ne présenteraient plus assez de résistance au ploiement des panneaux; on croisera alors les plombs, de façon à rompre les lignes.

Au lieu de faire frotter les plombs les uns contre les autres (fig. 219), on fait en sorte que chaque extrémité de la baguette rentre sous l'aile du plomb voisin (fig. 220).

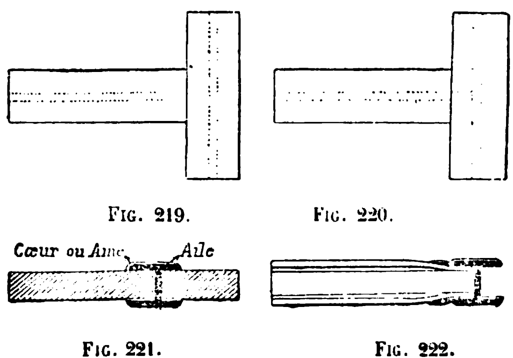


FIG. 219. FIG. 220.

FIG. 221. FIG. 222.

Les bouts employés sont de dimension et de force différentes, selon les poids et la grandeur des verres; ces dimensions varient de $0^m,003$ de large jusqu'à $0^m,012$.

Les verres s'achètent colorés en feuilles; il en existe une variété considérable; les plus employés sont de tons verdâtres, gris, jaunâtres, violacés, bleuâtres, etc., etc., depuis les nuances les plus franches et les plus soutenues, jusqu'aux plus rompues et aux plus fines.

L'erreur des praticiens, qui s'occupent spécialement des vitraux de ce genre, consiste généralement dans l'adoption de teintes trop accentuées. Les tons qui se rapprochent sensiblement du bleu, du vert, du jaune et du violet doivent être

condamnés dans une vitrerie qui a tout avantage à donner l'idée du blanc relatif, par le mélange habile de teintes neutres extrêmement pâles. En outre, rien n'est plus vulgaire que les cives colorées introduites dans cette vitrerie d'art qui

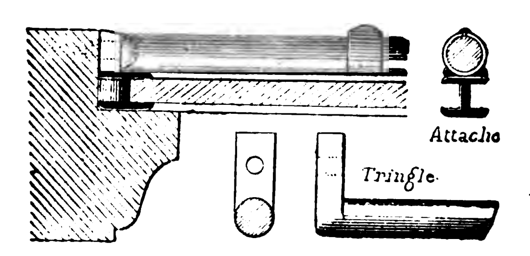


FIG. 223.

gagne à n'être qu'une grisaille, et ne peut avoir un effet agréable et distingué qu'à cette condition.



FIG. 224.

Voyons maintenant comment s'opère la pose des vitraux d'appartement.

Il y a trois manières : soit comme les verres ordinaires en feuillure ; soit dans des châssis de chêne ou de fer indépendants de la fenêtre et rapportés sur les

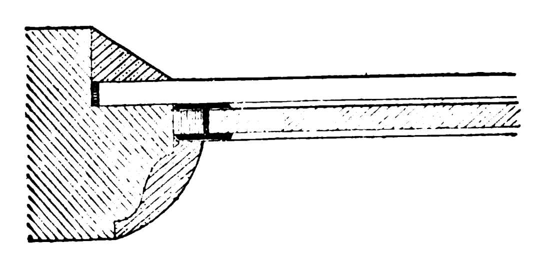


FIG. 225.

ventaux ; soit enfin en application sur les vitres déjà en place et qui supportent les panneaux de couleur.

Dans le premier cas (fig. 223), le panneau est appuyé sur la feuillure et main-

tenu par des tringles métalliques coudées fixées après le montant par des vis sur le coude de la tringle; de distance en distance sont soudées sur les tringles des attaches en plomb; de plus, les bords sont mastiqués soigneusement.

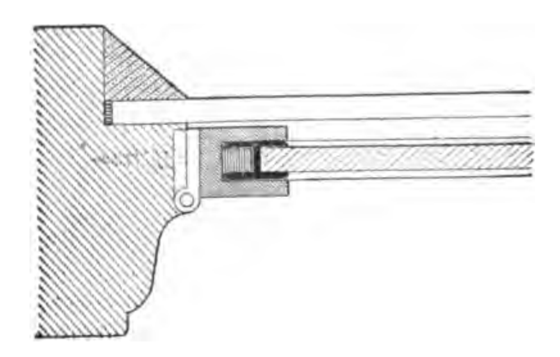


Fig. 226.

On se sert aussi de tringles non coudées, dont les extrémités pénètrent dans des trous posés dans le montant (fig. 224).

La même disposition est adoptée pour les châssis rapportés et indépendants, dont le cadre vient s'emboîter sur le bâti de la fenêtre.

Si l'on veut appliquer les vitraux peints sur des glaces déjà posées, un simple mastiquage sur les bords suffit (fig. 225).

Souvent on peut avoir intérêt à se ménager par moment le jour blanc, alors on monte le vitrail peint (fig. 226) sur un petit fer en U qui forme cadre, et que l'on attache à charnière sur le bâti de la fenêtre. On peut ouvrir ce vitrail comme un volet.

LIVRE SEPTIÈME

CHAPITRE PREMIER

GLACES

Abraham Thévart est l'inventeur de la méthode de *coulage* des glaces. Louis Lucas de Néhou en a assuré l'application.

Nous devons aux Anglais le cristal, aux Allemands le verre, aux Vénitiens les miroirs soufflés. L'invention des glaces coulées est une invention française. Elle a sauvé la vie de milliers d'ouvriers, produit des millions et renversé l'industrie de Venise (1).

Le second progrès opéré dans la fabrication des glaces, c'est la substitution du sulfate de soude au carbonate de soude.

Avant 1793 on se servait de soude d'Espagne ; les guerres de la fin du dix-huitième siècle rendant souvent impossible l'entrée de ce produit en France, Leblanc répondit à l'appel du Comité de salut public et inventa le procédé de production de la soude artificielle qui donne le carbonate de soude. Le prix élevé du carbonate de soude amena M. Pelouze à remplacer ce produit par le *sulfate de soude*, ce qui fut fait en 1850 et eut pour conséquence l'abaissement du prix de revient de la glace.

Peut-être dans un avenir assez rapproché reviendra-t-on à l'emploi du carbonate de soude préparé par la conversion plus immédiate du sel marin en carbonate de soude (2).

Le troisième progrès fut la substitution de la houille au bois, puis ensuite du gaz à la houille, cela par la modification des fours.

Depuis 1752, à Tour-la-Ville, depuis 1763, à Saint-Gobain, et ensuite de 1780 à 1789 (M. Deslandes), on avait essayé de substituer la houille au bois, mais ces essais ne furent pas couronnés de succès.

En 1829, on a commencé à fondre le verre à la houille, à Saint-Gobain, mais on l'affinait au bois, après *trégetage* (3). Deux fours travaillaient en même temps

(1) Un homme de bien, un savant, un économiste, feu M. A. Cochin, membre de l'Institut, a publié en 1865, un ouvrage *sur la manufacture des glaces de Saint-Gobain, de* 1665 *à* 1865. Administrateur de la Compagnie de Saint-Gobain, M. Cochin y a laissé un souvenir impérissable. Nous avons puisé dans cet ouvrage de M. Cochin, des renseignements qui trouvent place en divers passages de ce travail.

(2) Voy. le remarquable discours prononcé par E. Fremy, à l'ouverture de la session pour l'avancement des sciences (1878) : *la soude et l'acier*.

(3) Nous reviendrons plus loin sur l'explication à donner à ce mot.

dans chaque salle. Dans l'un, on fondait dans des pots fixes; on tirait de l'autre, pour le couler, le verre affiné et trégeté.

En 1842, M. Kemlin, ancien administrateur de la cristallerie de Vonèche (Belgique), établit à Sainte-Marie-d'Oignies, un premier four à glace faisant du verre à la houille avec trégetage. M. Houtard Cossé, en 1843, fit le premier four à la houille avec travail complet.

Mais on brûlait une quantité considérable de charbon par mètre de glace fabriqué. *Le four à gaz et à chaleur régénérée,* inventé par MM. Siemens, a permis de réduire très notablement cette consommation.

Les trois progrès qui précèdent, se rapportent à la fabrication du verre brut; ceux qui suivent ont amélioré les procédés mécaniques destinés à achever la glace en lui donnant la *planimétrie*, le *douci* et le *poli.*

La production de la glace brute nécessite trois opérations principales : la *fusion du verre*, la *coulée* et le *refroidissement de la glace obtenue.*

La *fusion du verre* se fait depuis plus de quinze ans dans des fours chauffés par le gaz, qui ont remplacé les fours à grilles employés encore dans beaucoup des verreries de verre soufflé.

Il existe plusieurs systèmes de fours à gaz, celui de Siemens est adopté par toutes les glaceries. Ce four se compose d'un gazogène, de conduits à gaz et du four proprement dit. Ces fours et les différents systèmes de fours chauffés par le gaz sont décrits en un chapitre spécial.

Matières premières. — Les matières qui entrent dans la fabrication du verre à glaces sont la silice, le sulfate de soude, le carbonate de chaux, le charbon de bois et des débris de verre (calcin).

La silice décompose, sous l'influence de la chaleur, le carbonate de chaux, et grâce à la présence du charbon de bois, le sulfate de soude; le produit final de la réaction est un silicate de soude et de chaux. Nous expliquerons, du reste, cette réaction en traitant de l'*affinage* du verre.

La *silice* employée (sable) provient de Fontainebleau, de Nemours ou de Champagne. Ces sables sont très purs, exempts presque complètement de sels de fer et de grains de grès qui pourraient rendre leur fusion difficile. Le choix du sable a une grande importance au point de vue de la fusibilité plus ou moins grande du verre et au point de vue de sa coloration. Les sels de fer contenus dans le sable sont généralement au minimum d'oxydation, grâce aux matières organiques et à la nature des grès auxquels les sables doivent leur formation.

On remarque en verrerie que le fer apporté par le sable colore plus, à quantité égale, que le fer contenu dans les autres matières. Le sable étant très pur, on a, au contraire, intérêt à forcer le plus possible sa proportion afin d'obtenir des verres peu colorés. On peut établir en principe que la coloration d'un verre ordinaire est en raison inverse de la quantité de silice qu'il contient. Plus il contient d'alcali, par rapport à la silice, plus il sera coloré.

Le calcaire provient de Landelies (Belgique), d'Aix-la-Chapelle, d'Allemagne, du nord de la France; il est très pur, quoique son aspect soit gris, ce qui tient à sa provenance du terrain carbonifère; la calcination fait disparaître cette coloration due à des manières bitumineuses. Plus le verre contient de chaux, plus

il a d'éclat, de solidité, et plus il est indécomposable par les variations de l'atmosphère; il y a cependant de graves inconvénients à forcer la proportion de calcaire dans la composition vitrifiable. Un verre trop chargé de calcaire devient « galeux » dès qu'on le refroidit avant la coulée, au moment du tise froid; il s'opère alors un commencement de *dévitrification*. La meilleure proportion de calcaire est celle qui correspond, dans un mélange vitrifiable, à la quantité de sulfate de soude.

Le *sulfate de soude* provient de la décomposition du sel marin par l'acide sulfurique, dans des cuvettes en plomb. Ce sel doit contenir le moins possible de fer, afin d'éviter la coloration du verre.

Quant à la quantité de sulfate de soude devant entrer dans la composition du mélange vitrifiable, elle doit être déterminée d'après la composition des éléments avec lesquels ce sel est associé, d'après la pureté du sulfate de soude; on doit tenir compte aussi de la température du four de fusion, mais nous dirons cependant qu'il est préférable d'avoir un petit excès de sulfate que d'avoir une composition trop pauvre de ce sel. L'insuffisance de sulfate occasionnerait des « fontes plates » et produirait un manque de fluidité nécessaire au travail du verre au moment de l'affinage.

Pour décomposer le sulfate de soude, les Anglais emploient de l'anthracite très pure, mais nous préférons l'emploi du charbon de bois en poudre. Le *calcin* est employé dans les compositions vitrifiables pour faciliter la fusion des matières. On l'emploie également, soit pour vernir à l'intérieur les creusets nouvellement placés au four, afin de les revêtir d'une couche de verre destinée à préserver les parois du contact immédiat des matières en fusion, principalement du sulfate de soude.

Il faut éviter de forcer la proportion de calcin dans les mélanges vitrifiables, trop de calcin nuit à la résistance du verre (à sa recuisson), à son homogénéité et à sa teinte, qui est ainsi rendue plus foncée.

Nous n'avons pas cité l'emploi du manganèse et de l'acide arsénieux dans les compositions vitrifiables parce qu'on a reconnu l'inconvénient de l'emploi du manganèse et l'inutilité de l'emploi de l'acide arsénieux.

Le peroxyde de manganèse, que les verriers employaient pour blanchir le verre, le colore nettement en violet lorsque le verre ainsi décoloré d'abord est ensuite exposé aux rayons solaires. (Le moyen de faire disparaître cette teinte violette est de passer le verre coloré au four à recuire, ce qui présente d'autres inconvénients et n'est pas toujours possible.) Il est préférable de choisir des matières premières très pures et de s'abstenir d'ajouter du manganèse. En tous cas l'oxyde de zinc devrait être préféré au manganèse comme décolorant.

Les verriers attribuaient à l'acide *arsénieux* la propriété d'agiter le mélange vitrifiable par sa *sublimation* qui, faisant bouillonner la matière fondue, exerce ainsi un brassage mécanique, mélangeant toutes les parties de la masse du verre, rendant le tout homogène et facilitant aussi le dégagement des autres gaz qui se trouvent dans la pâte du verre. Si tel est le résultat que l'on veut obtenir, il serait préférable d'ajouter l'acide arsénieux quand la fusion est terminée, pendant l'affinage, car nous avons la certitude que l'acide arsénieux introduit dans les compositions se volatilise rapidement, qu'il n'en reste plus dans les matières

vitrifiables aussitôt après leur fusion et que, par conséquent, l'effet que l'on voulait produire paraît être illusoire. Le seul but utile obtenu par l'acide arsénieux employé à cet état, c'est de faciliter la fusion, mais alors il est préférable d'employer l'arséniate de soude.

Nous avons la conviction que l'acide arsénieux n'agit que chimiquement sur la coloration du verre, que cette coloration soit produite par du charbon ou par du silicate de fer, et encore cette action est-elle très faible. Dans ces deux cas, voici les formules rendant compte de ces réactions :

$$AsO^3 + 3C = As + 3CO,$$
$$6FeO + AsO^3 = 3Fe^2O^3 + As.$$

Il faut, pour obtenir ce résultat, introduire l'acide arsénieux au moment de l'affinage et on obtiendrait le même effet décolorant en employant l'azotate de soude pour le verre, l'azotate de plomb pour le cristal.

Défauts du verre. — Il est rare de trouver du verre exempt de défauts; ces défauts sont, au contraire, assez nombreux et les plus fréquents sont : les *bulles* ou *points*, provenant d'un affinage insuffisant ou de la maladresse de l'ouvrier souffleur; les *infondus* ou *pierres*, provenant de grains de sable qui ne se sont pas dissous dans la masse du verre, ou bien encore de fragments de briques provenant de la voûte du four. Ces pierres peuvent également provenir des creusets de mauvaise fabrication, de creusets chauffés trop hâtivement ou portés à une température trop élevée.

Les *larmes* produites par la volatilisation de l'alcali à une très haute température, lequel attaque la voûte du four, produit un silicate coloré et tombe dans le verre en fabrication sans s'y associer. Depuis l'adoption des fours à gaz, ce défaut est devenu moins fréquent; les pierres sont, au contraire, plus nombreuses.

Le *verre opalescent* indique un commencement de dévitrification, il peut se produire dans un travail du verre trop prolongé, par conséquent dans le refroidissement trop considérable du four et des creusets, soit encore pendant la recuisson du verre.

Le *verre mat et irisé* dans sa cassure, indique un excès de fondant, de calcin, par exemple; quelquefois une cuisson inégale.

En présence de la coloration apportée au verre par les sels de fer, du soin que l'on doit avoir des outils dont se servent les ouvriers verriers, nous ne saurions trop recommander l'emploi d'outils nickelés, comme l'a du reste conseillé M. Clémandot. Le nickelage est une opération galvanoplastique des plus simples consistant à plonger les objets à recouvrir de nickel dans un bain de sulfate de nickel et d'ammoniaque : au bout de peu d'instants le nickelage est obtenu. Les verriers qui savent combien une paille de fer, introduite dans un creuset, peut occasionner de déchets, s'empresseront de profiter de cette heureuse application.

Le *mélange des matières vitrifiables* doit être fait avec le plus grand soin ; s'il en était autrement, on s'exposerait à des inconvénients de toutes sortes pen-

dant le travail du verre, et dans le produit obtenu. On aurait du « verre ondé » ou des grains infondus, et avant cela des irrégularités dans la durée de la fusion. D'une manière générale on doit être très sobre de changements dans les éléments de la composition.

Le mélange des matières vitrifiables se faisait jusqu'ici à la pelle par des *ouvriers mélangeurs.* Il est préférable d'employer un mélangeur automatique. M. Tock, directeur des verreries de Mariemont (Belgique), a imaginé un appareil assez ingénieux. Voici une série de ces appareils combinés de façon à broyer les matières, les mélanger et les laisser tomber directement à côté des fours. Cet appareil se compose d'une chaîne (pl. XIII), à godets A, servant à éle-

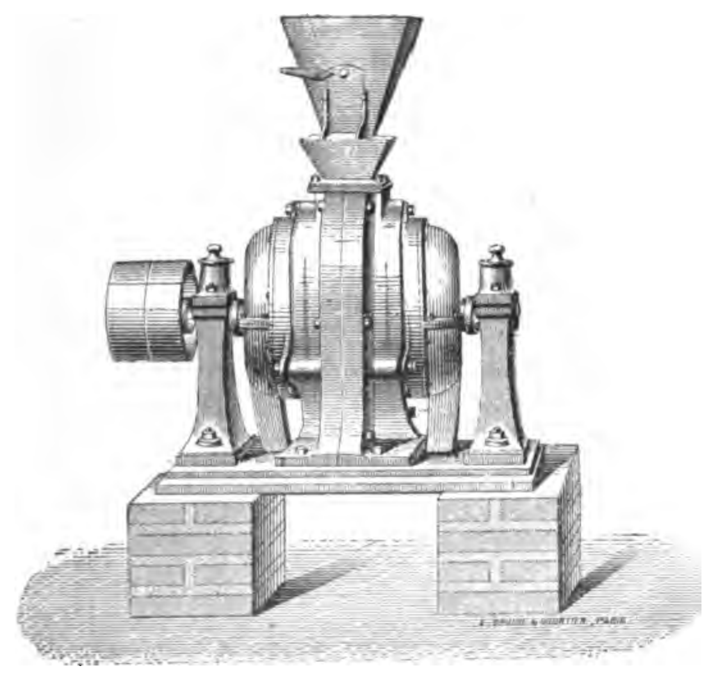


Fig. 227.

ver les matières broyées que l'on verse dans les trémies B et C. Ces matières ainsi élevées tombent dans une trémie mobile D qui les classe dans des loges en bois E, E′, E″, E‴, E⁗, servant de magasin; elles sont ensuite reprises par parties dans de petits bacs et pesées à la bascule P. Après cette opération, on vide les petits bacs dans la trémie O et les matières glissent dans le mélangeur H. Ce mélangeur ne fait que cinq tours par minute, il se compose d'un cylindre qui, à l'intérieur, renferme une hélice conduisant les matières introduites par la trémie G à son extrémité, du côté des portes I. Ces portes I sont mobiles dans le sens de la circonférence du mélangeur; elles s'ouvrent et se ferment sans interrompre la marche de l'appareil. On les ouvre pour faire tomber le mélange dans une trémie J. Le mélangeur étant complètement vide, on ferme les portes I pour recommencer un nouveau mélange. Pendant ce nouveau mélange, les

matières contenues dans la trémie J, tombent en ouvrant la glissière K, dans de petits tonneaux I qui enfin sont transportés là où l'on doit enfourner les matières.

Comme broyeur, nous recommanderons le broyeur américain à mâchoires, construit par la Compagnie de Fives-Lille, afin de concasser les matières dures,

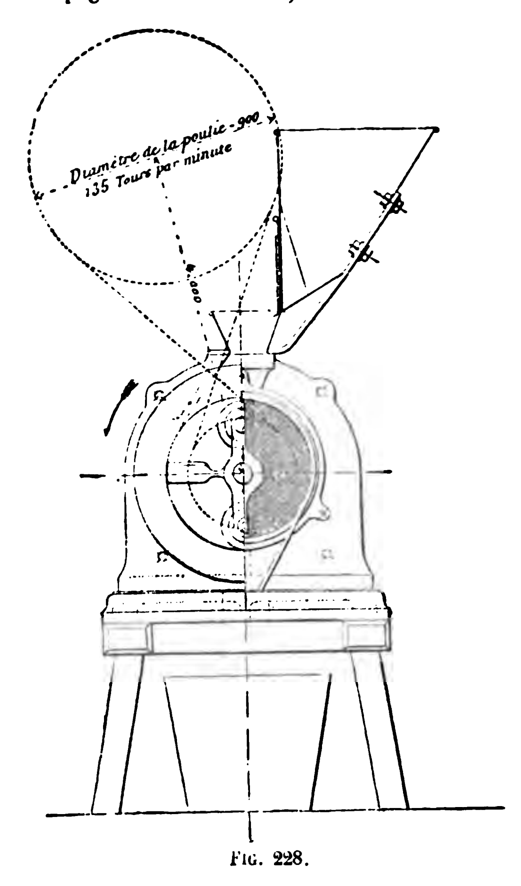


Fig. 228.

comme le calcaire, par exemple. Afin d'achever la pulvérisation, nous conseillons le broyeur Lucop qui donne un produit très finement pulvérisé, sans introduire de notables proportions de fer dans les matières broyées. — Nous donnons ci-dessus le dessin de cet appareil, construit par la Société des constructions navales du Havre. D'une manière générale, nous préférons l'emploi de meules verticales en fonte ou de meules horizontales en pierre.

Nous signalerons cependant les nouveaux appareils de broyage (dont nous avons parlé au chapitre *Poteries*) qui sont construits par la maison Delahaye (Tours), et qui donnent d'excellents résultats aussi bien comme quantité que comme qualité des produits broyés (fig. 85).

Fonte du verre. — Lorsque le four de fusion est mis en activité et qu'il a

atteint la température convenable, on introduit dans les creusets d'abord le « calcin » (débris de glaces), ensuite la composition, et l'on procède à la fusion. Depuis le moment où la coulée des glaces est terminée jusqu'au moment où l'on commencera une autre coulée, ce qui représente un espace de vingt à vingt-quatre heures, — plus le temps de cette coulée, — on peut diviser le travail du four, et par conséquent du verre, en trois phases distinctes:

A. Les fontes;
B. L'affinage;
C. Le refroidissement du verre (braise, ou tise froid).

A. *Les fontes.* — Les mélanges, faits avec le plus grand soin, — afin d'éviter la production du verre ondé, — sont apportés au four et introduits dans les creusets, à l'aide de pelles spéciales. Cet enfournement ne doit être fait que lorsque le four a été fortement réchauffé; non seulement on gagne dans la suite du travail le temps qui aura été employé à réchauffer le four, mais le succès de l'opération finale dépend en partie de la rapidité des fontes, rapidité qui ne peut être obtenue avec certitude et sans inconvénient qu'avec un four chaud au début, et dont la température aura été élevée ensuite progressivement.

Le premier enfournement terminé, les matières prennent, en fondant, un retrait considérable, et bientôt elles n'offrent plus que moitié à peu près de leur volume primitif; on fait alors un second, puis après un troisième enfournement. On doit faire le second enfournement avant que la fonte du premier soit complète; de même pour les enfournements suivants. Les matières étant fondues, ce dont on s'assure en cueillant dans la masse, à l'aide d'une tige de fer « cordeline », le verre est rempli de bulles qu'il faut faire disparaître, en maintenant pendant un certain temps ce verre à l'état fluide. C'est là la partie difficile de la fabrication du verre, c'est celle qui porte le nom d'*affinage:* elle a pour but de rendre le verre homogène et d'en expulser, autant que possible, les bulles de gaz qui se produisent au moment de la formation du verre; ces bulles persistent dans la masse vitreuse, lors même que les réactions chimiques paraissent accomplies.

Le nature de ces gaz, qui donnent au verre à glace un défaut connu sous le nom de *point*, n'a pas été jusqu'à présent déterminée avec exactitude; on ignore même quelles sont les actions mutuelles qui produisent, à la fin de l'opération, ce dégagement de gaz qui altère d'une manière si fâcheuse la qualité du verre. Le *point* est dû à l'action des corps réducteurs sur le sulfate de soude qui se trouve en excès dans le verre (1).

L'action de la silice sur un mélange de sulfate de soude et de charbon peut être représentée par les formules suivantes:

$$SiO^3 + SO^3,NaO + C = SiO^3,NaO + CO + SO^2,$$
$$SiO^3 + SO^3,NaO + C^3 = SiO^3,NaO + CO + S;$$

(1) E. Fremy, *Sur l'affinage du verre) Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXXI, décembre).

mais on peut expliquer d'une autre façon le phénomène de la vitrification et admettre qu'une partie de la soude du verre provient de la réaction du sulfate de soude sur le sulfure de sodium en présence de la silice.

Aussi peut-on ajouter les formules suivantes à celles qui représentent la formation du verre :

$$SO^3,NaO + C^4 = 4\,CO + SNa,$$
$$SNa + SO^3,NaO + SiO^3 = SiO^3,2NaO + SO^2 + S.$$

M. Fremy s'est assuré de la réalité de cette dernière action, en opérant synthétiquement et en produisant du silicate de soude par la calcination d'un mélange de sulfure de sodium, de sulfate de soude et de silice ; M. Fremy a même reconnu, en recueillant les produits volatils, que, dans ce cas, le soufre et l'acide sulfureux se dégagent suivant les proportions exprimées par la formule.

Cette action d'un sulfure sur le sulfate de soude, en présence de la silice, n'est pas particulière aux sulfures alcalins ; elle s'étend à d'autres sulfures et surtout aux sulfures alcalino-terreux. M. Fremy a, en effet, fabriqué très facilement du verre, en fondant, dans un creuset, un mélange de sulfate de soude, de silice et de marc de soude : on sait que ce dernier corps est formé principalement par du sulfure de calcium. La réaction suivante s'est produite :

$$SCa + SO^3,NaO + SiO^3 = SiO^3,NaO,CaO + S + SO^2.$$

Il est à remarquer que le silicate de soude $SiO^3,2NaO$ et le sulfure de sodium SNa, étant des fondants très énergiques, doivent faciliter beaucoup la vitrification.

Il est très probable que ces réactions sont suivies de la décomposition d'une partie de l'acide sulfureux sous l'action du carbone.

Scheurer Kestner a en effet reconnu que si l'on fait passer de l'acide sulfureux à travers une couche de charbon porté au rouge blanc, tout le soufre de l'acide sulfureux se dégage à l'état de vapeur, et que le carbone est transformé en oxyde de carbone et acide carbonique. La composition du gaz de la réaction est assez constante pour qu'on puisse représenter cette réaction par l'équation :

$$2\,SO^2 + 3\,C = 2\,CO + CO^2 + 2,S,$$

Le rapport entre le CO et le CO^2 est du simple au double, 66,6 oxyde de carbone pour 33,3 acide carbonique.

Ces résultats concordent avec ceux que M. Berthelot a obtenus en faisant ces mêmes expériences à une température moins élevée. Il a obtenu de l'oxyde de carbone, de l'oxysulfure et du sulfure de carbone.

Or ces deux derniers corps ne résistent pas dans ces conditions à l'action des températures élevées. Les réactions suivantes se produisent :

$$2\,COS + SO^2 + C = 2\,CO + CO^2 + 3\,S.$$
$$CS^2 + 2\,COS + SO^2 = 2\,CO + CO^2 + 5\,S,$$

sans avoir probablement la netteté indiquée par ces formules, mais en donnant, comme résultat final, deux volumes de CO, un volume CO^2 et du soufre.

Il résulterait de ces réactions que, dans la préparation des silicates alcalins, le sulfate serait transformé en acide sulfurique anhydre, lequel serait décomposé en SO^2 et oxygène. Ces deux gaz en présence du charbon sont transformés en CO^2, CO et soufre.

$$3\,SO^3\,RO + 6\,Si\,O^3 + 5\,C = 3\,S + 4\,CO^2 + CO + 3\,(RO\,2\,Si\,O^3).$$

La présence de l'oxyde de carbone se trouve ainsi expliquée dans les produits gazeux de la décomposition du sulfate, cette réaction se distingue de la réduction du sulfate en sulfure qui ne donne pas d'oxyde de carbone, mais seulement de l'acide carbonique.

Dans la fabrication du verre, si un réducteur solide ou gazeux fait passer, à l'état de sulfure, le sulfate qui se trouve en excès dans le verre, la masse de verre *recommence à travailler*, comme le disent les ouvriers: M. Fremy explique ce phénomène en disant que le sulfure réagit sur le sulfate et produit des gaz qui restent dans le verre si la coulée se fait à ce moment: c'est ainsi que le verre présente du point.

Pour arriver à un affinage satisfaisant, il faut donc, quand la vitrification est opérée, éviter, autant que possible, l'action des réducteurs sur le sulfate de soude que retient le verre, ou mieux encore détruire cet excès de sulfate de soude sans engendrer de nouveaux gaz dans la matière vitreuse. Telle est, croyons-nous, la théorie véritable de l'affinage du verre.

Ainsi l'excès de sulfate de soude est utile au verre pendant *sa fonte;* il n'est blanc et fusible qu'à cette condition : des traces de sulfure de sodium le colorent en jaune ; par conséquent la présence du sulfate de soude dans le verre est une garantie de l'absence du sulfure de sodium, puisque ces deux corps se détruisent mutuellement ; mais le sulfate de soude doit disparaître à la fin de l'opération.

Le talent du verrier consiste donc à se servir habilement de l'excès de sulfate de soude pour opérer la vitrification de la silice et à le détruire ensuite au moment de l'affinage, en évitant sa transformation en sulfure, parce qu'alors les gaz se produiraient de nouveau et l'affinage resterait incomplet.

On sait que, dans la fabrication du verre, l'excès de sulfate de soude est détruit par différents moyens, mais surtout par l'emploi des bûchettes.

Au moment où le sulfate de soude est soumis ainsi à l'action d'une matière organique, la formation du sulfure est indiquée par la coloration jaune que prend le verre, coloration qui disparaît ensuite par l'action de l'oxygène : le dégagement du soufre est rendu manifeste par la couleur des gaz.

Pendant l'affinage, le verre est constamment en ébullition, aussi est-il préférable de ne pas trop emplir les creusets au moment des enfournements : de cette manière on ne risque pas de répandre le verre sur le siège par suite de débordements, ce qui nuirait considérablement à la durée du siège et de la fosse à verre. Cette mousse de verre, obtenue pendant le travail de l'affinage, constitue un déchet « picadil » dont le fabricant a tout intérêt à diminuer la production.

Quelquefois, après l'affinage, par suite d'un ralentissement trop brusque de la température, ou par un affinage incomplet, on voit à la surface de certains creusets un peu de « sel » (sulfate de soude) qui ne s'est pas combiné avec les autres éléments du mélange vitrifiable. On doit enlever ce « sel », et on le fait

généralement à l'aide d'une cuillère, que l'on a soin de sécher, avant de la mettre au contact de ce « sel » ; sans cette précaution, et par suite de la décomposition instantanée de l'eau, au contact du sel liquide, il se produit une détonation très forte qui peut nuire à la solidité du creuset et à l'état de la voûte du four.

Lorsque l'affinage est terminé, on abaisse la température du four, jusqu'à ce que le verre ait acquis ce degré de consistance pâteuse qui est absolument nécessaire pour permettre le travail du verre, et même temps pour pouvoir le couler sans inconvénients.

Ce refroidissement du four qui dure de deux à trois heures se nomme la *braise* ou le *tise froid*. Par suite de cet abaissement de température, le verre devient plus dense et force les gaz renfermés encore dans sa masse à remonter à la surface du creuset.

On a fait récemment dans diverses verreries, cristalleries et glaceries des expériences très intéressantes au moyen du procédé Thomas, sur l'emploi de l'oxygène ou de l'air surchauffé pour activer la fusion et l'affinage du verre.

On commence l'opération de la manière accoutumée; puis, quand la fusion est au tiers faite, on engage dans la masse un tube de platine allant jusqu'au fond du pot et par ce tube on fait arriver de l'oxygène pendant quinze à vingt minutes. Puis, on enlève le tube et l'opération continue à la façon habituelle.

Le gaz oxygène vient directement d'un de ces réservoirs dans lesquels on a maintenant coutume de le livrer à la consommation et qui contiennent un millier de litres de gaz sous une pression de 100 atmosphères.

Il résulte des observations qui ont été faites, que le temps nécessaire pour terminer la fusion du verre se trouve réduit à quelques minutes seulement et que celui indispensable à l'affinage est aussi fort abrégé.

L'effet est en partie physique, en partie chimique, les bulles de gaz s'élèvent du fond du pot et mélangent très intimement ensemble les divers constituants, appliquant, de la sorte, les principes de cet usage vieux comme l'industrie du verre elle-même et que l'on trouve encore dans certaines usines, de remuer la masse en fusion avec un morceau de bois vert ou d'introduire au fond du pot des pommes de terre qui dégagent de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

Mais l'effet physique de l'oxygène est beaucoup plus important. Ce gaz distribue la chaleur plus rapidement, plus uniformément dans le verre, en même temps qu'il en augmente l'intensité.

C'est probablement à ce fait que l'on doit la diminution du temps de fusion. On explique cet effet en disant que le courant de gaz qui traverse le verre rassemble les petites bulles d'acide carbonique qui, par leur réunion, acquièrent une force ascensionnelle plus considérable.

L'effet chimique consiste dans la combustion des substances oxydables, le fer principalement. On n'arrive pas naturellement en opérant de cette manière à obtenir des verres absolument exempts de la teinte verte bien connue, car la température du four est toujours assez élevée pour réduire une partie de l'oxyde de fer formé.

Jusqu'à présent, le procédé présente de grandes difficultés pratiques.

L'introduction de l'oxygène par un tube de platine donne lieu à plusieurs objections : le platine est d'un prix élevé et un tube de ce métal assez résistant pour faire l'usage que nous venons de décrire, est nécessairement très coûteux, en même temps que sa durée sera toujours très limitée. Il reste donc à découvrir pour injecter l'oxygène une méthode qui donne de bons résultats, non seulement au cours d'une expérience, mais aussi et surtout dans la pratique.

Une autre difficulté se présente, celle d'avoir de l'oxygène à sa disposition; il est vrai qu'en Europe les usines d'oxygène fournissent ce gaz à des prix très abordables, d'ailleurs à défaut d'oxygène on peut faire usage d'air chaud.

Les divers essais ont donné les résultats suivants :

1° *Flint-glass.* — L'expérience a été faite dans une petite verrerie de Londres, dans un pot contenant environ 200 kilogrammes de verre. La température du four était peu élevée et la fusion demandait ordinairement de vingt à trente heures.

	Fonte ordinaire.	Fonte avec l'oxygène
Durée de la première partie de la fusion. .	6 heures.	6 heures.
Temps nécessaire pour compléter la fusion.	8 —	1/4 d'heure.
— pour l'affinage	6 —	4h 1/2
Durée totale du travail.	20 heures.	10h 3/4

soit une économie de 46 pour 100 de temps et de combustible.

Après le soufflage, le verre ne s'est pas trouvé moins bon que le meilleur flint-glass.

2° *Verre de four à cuve.* — L'expérience a été faite dans le Lanscashire. sur une cuve de 130 tonnes; elle n'a pas été complètement satisfaisante, en ce sens que les résultats n'ont été estimés que d'après l'appréciation du fondeur, qui aurait obtenu en vingt minutes le même résultat qu'en une heure et demie. L'on ne peut attacher que peu d'importance à cette observation. La cuve ordinaire étant disposée pour un travail continu, on connaît les dimensions qui conviennent pour que le verre coule graduellement jusqu'à ce qu'il soit bon à être travaillé. Pour introduire dans l'industrie verrière un procédé qui diminuât le temps de fusion dans des proportions aussi considérables, il serait nécessaire d'avoir une cuve de dimensions tout autres avec une voûte élevée.

Ce procédé nécessitera de grands perfectionnements pour être rendu pratique.

3° *Glaces.* — Les essais ont été pratiqués dans un atelier où deux pots, d'une contenance de 400 à 500 kilogrammes de verre, placés dans les mêmes conditions, furent remplis. L'un d'eux seulement recevait de l'oxygène. Il devenait donc aisé de comparer les résultats. Le pot dans lequel on faisait intervenir l'oxygène se trouva prêt à être coulé au bout de neuf heures, le second en exigea quinze.

On coula le verre des deux pots, puis on le fit passer par les phases ordi-

naires de la fabrication, il fut reconnu dans les deux cas de la même qualité que celui fabriqué habituellement à l'usine.

L'intensité de la coloration verte fut trouvée de 8 pour 100 moins forte pour le verre préparé à l'oxygène que pour le verre ordinaire.

Dans ces diverses expériences la consommation de l'oxygène était de 25 à 30 litres par tonne de verre fini.

L'oxygène en excès, c'est-à-dire la totalité — à part la faible porportion qui se combine aux diverses matières pour constituer des oxydes de fer, de l'oxyde de carbone, etc. — s'échappait dans le four pour enrichir l'air et aider par conséquent à la combustion.

Dans le même ordre d'idées on a fait emploi de l'air surchauffé en place d'oxygène, et on a obtenu pour résultat une diminution du temps de fusion de dix-neuf à seize heures, soit un avantage de trois heures.

Il faut admettre que ces chiffres ont leur importance, mais il est indispensable pour rendre cette méthode applicable dans l'industrie courante, de la débarrasser de toutes les difficultés techniques qu'elle présente encore.

Influence de la pression sur le travail du verre en fusion. — M. Lepersonne a eu l'idée d'appliquer le principe du vide pour activer la fusion et l'affinage du verre.

Le procédé consiste à produire à l'intérieur des appareils ou récipients employés, une dépression convenable dont le résultat est de faciliter le départ des gaz émanant des réactions chimiques qui s'établissent entre les matières premières en fusion.

Ces gaz sont disséminés dans la masse du verre pâteux et leur élimination ne se fait que lentement et difficilement.

Or, on sait que le volume d'un gaz est, dans des conditions égales de température, inversement proportionnel à la pression qu'il supporte; d'autre part, la force ascensionnelle d'un gaz quelconque augmente, toutes conditions de viscosité égales d'ailleurs, en raison du volume de ces bulles.

Si dans un creuset contenant du verre à l'état pâteux, on provoque une dépression d'une demi-atmosphère par exemple, on va du même coup doubler le volume de ces bulles de gaz qu'il renferme et augmenter leur force ascensionnelle. On hâtera donc l'affinage du verre sans avoir besoin de le porter à un état exagéré de liquidité.

Ces faits ont été complètement vérifiés par l'expérience. Malheureusement, l'application du procédé présente en pratique des difficultés tellement grandes qu'on a dû renoncer à poursuivre les essais.

Coulage. — Les creusets sont successivement enlevés du four à l'aide d'une pince spéciale (fig. 229), placés sur un chariot et conduits jusqu'à une grue munie d'une tenaille spéciale qui soulève le creuset (fig. 230) et l'amène au-dessus de la table, puis à l'aide d'un mouvement de bascule on renverse brusquement le creuset dont le contenu tombe sur cette table, qui a été préalablement saupoudrée de sable fin. Le verre, pâteux, commence à s'étendre de lui-même, on continue l'étendage à l'aide d'un gros rouleau en fonte qui circule sur la table

dans le sens de sa longueur; ce rouleau pèse environ 4000 kilogrammes. La largeur de la glace, son épaisseur, sont réglées par des tringles de fer sur lesquelles le rouleau porte par ses extrémités (fig. 231).

Aussitôt que le rouleau a laminé le flot du verre, on pousse la glace ainsi produite dans le four à recuire, « carcaise ».

Le spectacle actuel de la coulée, quoique moins solennel qu'il y a un siècle, est

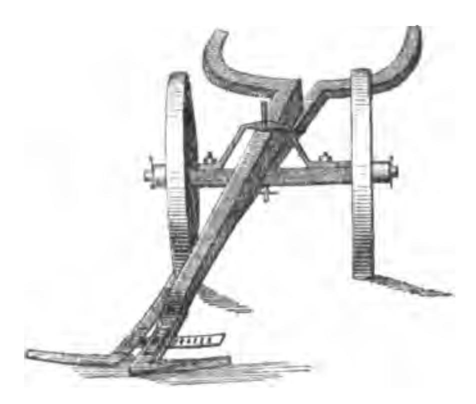


Fig. 229.

très beau; nous ne pouvons mieux faire que de donner ici la description de M. A. Cochin :

« Quand on entre pour la première fois la nuit dans une des vastes halles de Saint-Gobain, les fours sont fermés et le bruit sourd d'un feu violent mais captif interrompt seul le silence. De temps en temps un verrier ouvre le pigeonnier

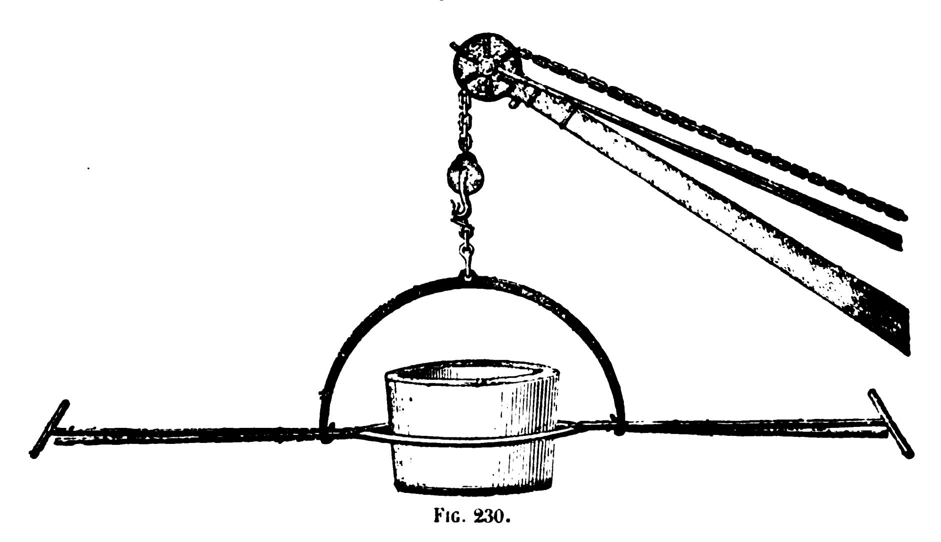
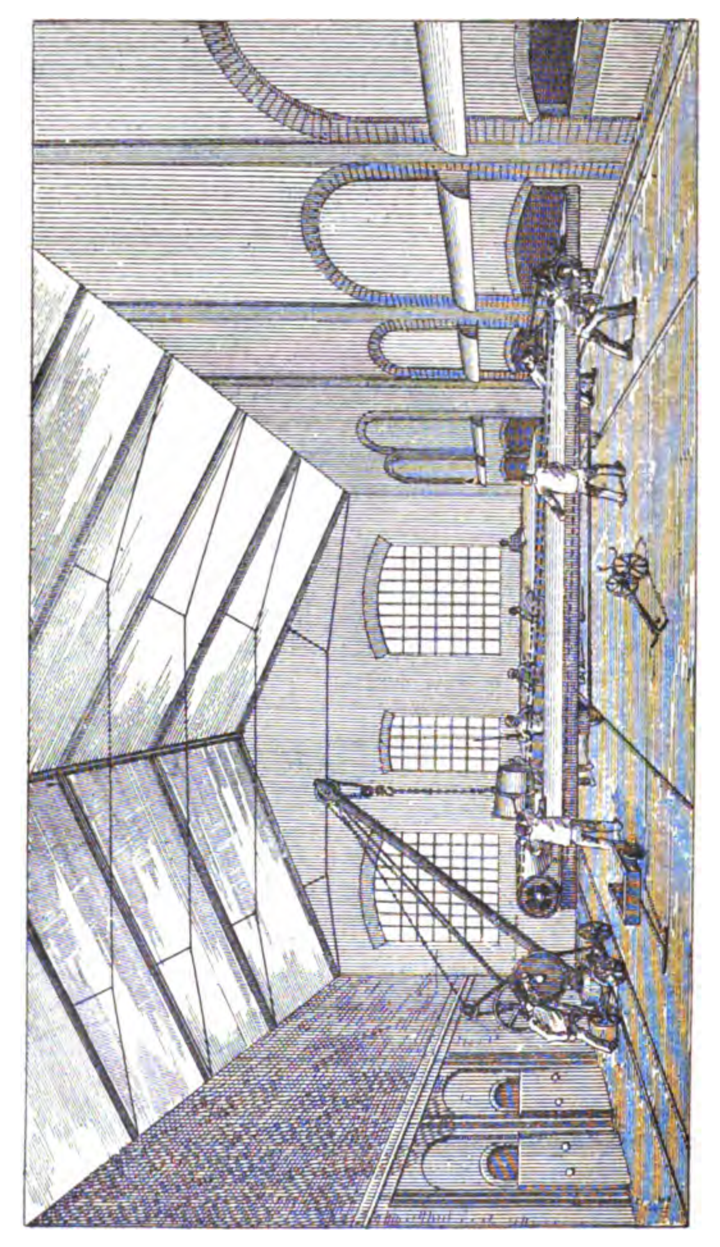


Fig. 230.

du four pour regarder dans la fournaise l'état du mélange : de longues flammes bleuâtres éclairent alors les murailles des *carcaises*, les charpentes noircies,

les lourdes tables à laminer et les matelas sur lesquels des ouvriers demi-nus dorment tranquillement.

» Tout à coup l'heure sonne; on bat la générale sur les dalles de fonte qui


Fig. 231. — Coulage des glaces au dix-neuvième siècle.

entourent le four, le sifflet du chef de halle se fait entendre et trente hommes vigoureux se lèvent. La manœuvre commence avec l'activité et la précision

d'une manœuvre d'artillerie. Les fourneaux sont ouverts, les vases incandescents sont saisis, tirés, élevés en l'air, à l'aide de moyens mécaniques; ils marchent comme un globe de feu suspendu, le long de la charpente, s'arrêtent et descendent au-dessous de la vaste table de fonte placée avec son rouleau devant la gueule béante de la *carcaise*. Le signal donné, le vase s'incline brusquement, la belle liqueur d'opale, brillante, transparente et onctueuse, tombe, s'étend comme une cire ductile et, à un second signal, le rouleau passe sur le verre rouge; le *rangeur*, les yeux fixés sur la substance en feu, écrème d'une main agile et hardie les défauts apparents; puis le rouleau tombe, ou s'enlève, et vingt ouvriers munis de longues pelles poussent vivement la glace dans la *carcaise* où elle va se recuire et se refroidir lentement. On retourne, on recommence sans désordre, sans bruit, sans repos; la coulée dure environ deux heures; les creusets à peine replacés sont remplis, les fours sont refermés, les ténèbres retombent et l'on n'entend plus que le bruit continu du feu qui prépare de nouveaux travaux. »

A côté de cette description et de la planche qui l'accompagne il est curieux de voir une coulée du siècle dernier (pl. XV).

Dans la *carcaise* la glace séjourne pendant trois ou quatre jours, en se refroidissant graduellement. Chacun de ces fours à recuire peut contenir deux ou quatre glaces. La théorie du recuit consiste en ce que la masse vitreuse étant maintenue pendant un certain temps dans un état voisin de la fluidité, la chaleur augmente le volume des parties extérieures et les rend assez peu résistantes pour permettre aux particules internes de se dilater et de se disposer régulièrement entre elles. M. Pellatt et M. Tomlinson ont démontré le bien fondé de cette explication.

La carcaise et le creuset ont une importance capitale dans le succès d'une fabrique de glaces.

Sans bons creusets on ne peut obtenir de haute température dans le four et parconséquent il est impossible de produire de beau verre.

Sans bonnes carcaises pas de rendement; pour satisfaire à cette condition, les carcaises doivent donner des glaces planes, entières, « bien recuites ».

Deux points importants doivent être pris en considération dans la disposition des carcaises : le refroidissement rapide et régulier et la casse à éviter pendant le refroidissement, puis ensuite l'économie de combustible à réaliser par mètre carré de verre recuit.

Une carcaise est un four à voûte elliptique, à sole formée de briques posées de champ, bien dressées sur la face supérieure, reposant sur une couche de sable tamisé, d'un grain uniforme de finesse. Toutes les parties de la sole doivent se dilater librement; on vérifie après chaque défournement au moyen d'une longue règle bien droite, la sole des carcaises, afin d'avoir une surface plane, même légèrement creusée dans le voisinage des foyers; l'ouvrier chargé de ce travail s'appelle redresseur des carcaises. Une carcaise est chauffée par deux foyers, un à l'avant, un à l'arrière. La hauteur de la voûte ne doit être ni trop élevée, à cause de la dépense de combustible, ni trop basse, à cause de la qualité du recuit à obtenir. Une large ouverture à l'entrée permet l'enfournement et la sortie des glaces, cette ouverture est fermée par des tôles mobiles mues par des contrepoids. Chaque carcaise doit avoir sa cheminée spéciale, servant au chauffage et

Fig. 232. — Salle d'équarrissage des glaces.

au refroidissement. Le tirage doit être suffisant pour permettre de chauffer une carcaise en trois ou quatre heures.

La sole doit reposer sur des voûtes afin d'obtenir un refroidissement plus rapide, refroidissement qui dure de trois à quatre jours. Au moment de l'enfournement des glaces dans la carcaise, la température doit être inférieure à celle du ramollissement du verre. On doit prendre, dans le refroidissement, de grandes précautions pour éviter la casse.

Depuis quelques années on a obtenu de très beaux résultats dans la construction et la conduite des carcaises, mais nous croyons que dans un avenir assez rapproché ces moyens de recuisson seront profondément modifiés.

Les glaces poussées hors de la table de coulage (la planche XIV donne la coupe et le plan d'une halle de fusion et de coulage) seraient alors placées dans un our, — vaste galerie — à sole mobile, chauffé méthodiquement, et dont la température décroissante serait en rapport avec le chemin parcouru par la sole mobile supportant les glaces destinées à être recuites, c'est-à-dire refroidies lentement; de cette façon, une galerie de refroidissement verrait les glaces provenant du laminage entrer par une extrémité et sortir par l'extrémité opposée, préparées ainsi à la découpe. De cette façon, on éviterait la construction d'appareils d'une installation dispendieuse, d'une conduite délicate. et de résultats souvent incertains.

A sa sortie de la carcaise (pl. XVI) la glace est découpée, *équarrie* (fig. 232), à l'aide de diamants ou à l'aide de petites roulettes d'acier, roulettes trempées au mercure, roulettes enchâssées et mobiles dans une monture en fer

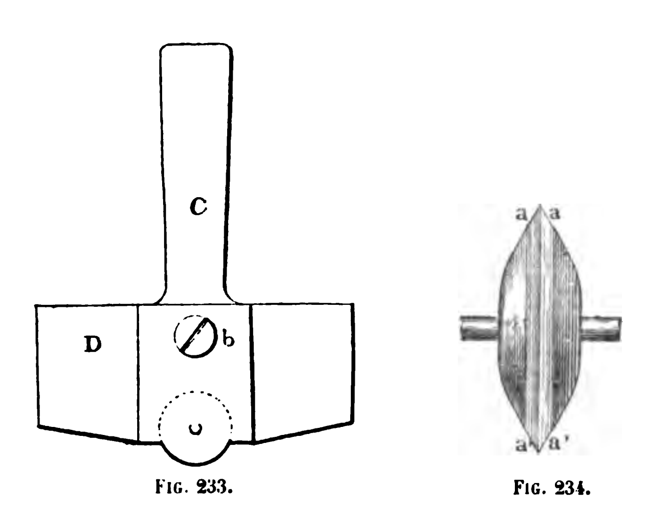


FIG. 233. FIG. 234.

(fig. 233, 234). Cette opération de la découpe des glaces demande beaucoup de soins au point de vue de la constatation de défauts à éliminer, et aussi à cause des accidents à éviter dans le maniement des grandes glaces; aussi une installation spéciale est-elle nécessaire. La figure 232 en donne une idée.

DÉCOUPAGE DU VERRE PAR L'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE

Depuis la dernière Exposition d'électricité on a tenté toutes sortes de procédés basés sur l'emploi de cette force qui rend déjà de si grands services. Voici un procédé pour couper le verre à l'aide de l'étincelle électrique.

On se sert, à cet effet, d'une plaque rectangulaire en caoutchouc durci ($0^m,18$ sur $1^m,12$) pour une batterie donnant des étincelles de 12 centimètres. La plaque est traversée par l'extrémité recourbée d'un fil de laiton, cette extrémité peut aussi être fixée à la plaque à l'aide d'une vis. Pour couper ou percer le verre, la plaque est placée de telle sorte que l'extrémité recourbée du fil de laiton qui la traverse soit dirigée en haut, tandis que le fil lui-même reste au-dessous. On réunit le fil à un pôle électrique; après avoir versé sur l'extrémité recourbée quelques gouttes d'huile d'olive, on pose dessus la lame de verre sur laquelle on veut agir, et l'on pose l'autre pôle sur le verre à travers lequel on fait ainsi passer des étincelles. En déplaçant lentement le verre sur la plaque de caoutchouc, on obtient une suite de petits trous suivant lesquels on peut briser le verre. L'huile d'olives a sans doute ici pour but d'isoler le fil métallique.

M. Gaiffe se sert pour couper le verre d'un chalumeau avec mélange de gaz et d'air; il enveloppe la pointe du chalumeau d'une boîte creuse en forme de biseau. L'arête de ce prisme, percée d'une fente destinée à livrer passage à la flamme, est circulaire et épouse le contour des verres à couper.

On peut encore employer la méthode suivante pour couper le verre: On chauffe au rouge blanc une vrille très effilée et on la trempe dans un bain de mercure; on l'aiguise alors, puis on la plonge, au moment de s'en servir, dans une solution saturée de camphre dans l'essence de térébenthine; le même liquide sert à humecter pendant l'opération la partie du verre attaquée, laquelle se perce avec autant de facilité et de netteté que du bois.

Procédé de M. Fahdt, de Dresde, pour couper les objets en verre et pour arrondir les arêtes. — Pour couper les objets en verre à dimensions, M. Fahdt, de Dresde, se sert de fils chauffés au rouge par l'électricité. La disposition employée dans ce but est représentée figure 235. Des vis en métal B, reliées avec les deux pôles d'une pile, peuvent être déplacées et fixées dans des rainures transversales d'une plaque A; un fil métallique D, serré par ses extrémités, dans des bornes qui forment la partie supérieure de ces vis, est appliqué à l'endroit où il s'agit de couper le verre, sur la circonférence de l'objet; ce dernier repose sur des galets, portés par les supports ou fourches C, et une pointe fixée à une tige E l'empêche de reculer. Cette tige E, de même que les supports C, peuvent être déplacés, quand cela est nécessaire, dans une rainure longitudinale de la plaque A. La fermeture du courant fait rougir le fil D, ce qui a pour objet d'échauffer les points de contact du fil avec l'objet qu'on fait tourner à la main, de façon que, par un refroidissement brusque, ou seulement par le contact avec un corps humide, il se produit une cassure fine suivant la ligne échauffée et une cassure nette.

Afin d'émousser les arêtes vives de la cassure, ces arêtes sont fondues au

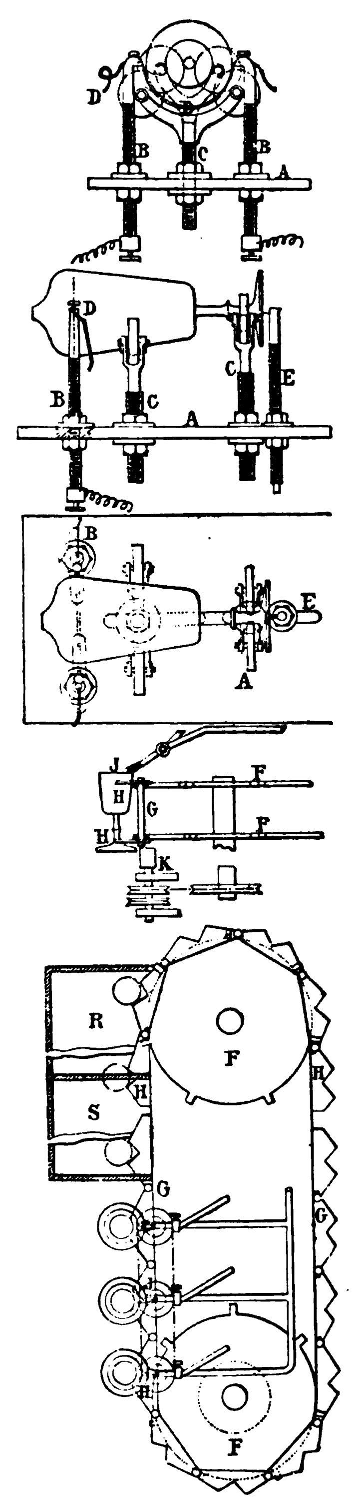


FIG. 235.

moyen de l'appareil représenté par la figure 235. A cet effet les verres sont placés sur des supports H, qui sont fixés à la chaîne G passant sur les poulies F. Cette chaîne reçoit un mouvement à intervalles, à l'aide d'un mécanisme approprié. A la fin de chacune des courses en avant de la chaîne, les verres viennent se placer devant une flamme pointue J, produite par un chalumeau ou une lampe d'émailleur ; une de ces flammes commence à les échauffer et la suivante fond les arêtes vives. Afin d'amener toutes les parties des arêtes vives devant la flamme, les verres reçoivent, en même temps, un mouvement de rotation au moyen de galets de frottement K, sur lesquels ils reposent par leurs pieds. Lorsque les verres ont été complètement arrondis sur les bords, ils sont d'abord conduits par la chaîne G dans un four à recuire, afin d'empêcher, par un échauffement régulier, que les parties fondues n'éclatent ; les verres passent ensuite dans une chambre R, où on les laisse refroidir et au sortir de laquelle ils sont prêts à être livrés au commerce.

Les flammes J doivent pouvoir être réglées aisément, afin de les ajuster suivant la fusibilité plus ou moins grande du verre.

Travail mécanique des glaces. — A leur sortie des carcaises, et après leur équarrissage, les glaces ne sont pas transparentes, leurs surfaces sont rugueuses ; les surfaces ne sont même pas parfaitement parallèles; il s'agit de faire disparaître toutes ces aspérités et puis ensuite il faut rendre les glaces transparentes. Pour arriver à ce résultat on soumet les glaces à trois séries d'opérations obtenues à l'aide d'appareils mécaniques différents; ces opérations portent les noms de *doucissage*, de *savonnage* et de *polissage*.

Les appareils à doucir travaillent les surfaces brutes au moyen de lames en fonte (ou en fer) avec interposition de sable gros ou grès, de sable fin, et d'émeri de diverses grosseurs qui donnent à cette opération le nom de savonnage.

Les appareils à polir travaillent les surfaces savonnées, parallèles, feutre sur verre, avec interposition d'oxyde de fer ou potée.

Les appareils à doucir sont de plusieurs sortes.

Jusqu'en 1768, le travail des glaces se faisait à la main (pl. XVII); la Compagnie anglaise de Ravenhead commanda à Boulton et à Watt, de Birmingham, vers cette époque, une machine à vapeur, qui paraît être la seconde machine à vapeur construite par ces célèbres constructeurs; l'année suivante le travail mécanique remplaçait, à Ravenhead, le travail manuel.

En 1820, Clément Desormes introduisit à la glacerie de Saint-Gobain des machines à dresser, qui furent construites en Angleterre, par Hall, de Dartford.

En 1824, Hoyau obtint un dressage et un doucissage parfaits de glaces de grandes dimensions au moyen d'une machine dont l'idée principale consiste dans la rotation rapide d'un ou plusieurs outils, rodoirs ou ferrasses, mobiles autour d'un axe vertical, tandis que la pièce à dresser se trouve sur une plateforme ou support à rotation excentrique par rapport au système précédent et présente successivement tous ses points à l'action de l'outil. C'est donc la généralisation du principe du tour appliqué au dressage mathématique de grandes surfaces.

En 1834, on reprit ces expériences en scellant plusieurs morceaux de glaces, les dressant et les dégrossissant à l'aide de ces moellons ou rodoirs.

Le mécanicien Ranvez mit en pratique les idées et les principes émis par Hoyau, et en fit une application au dressage des glaces de l'usine de Cirey.

En 1836, en Angleterre, Robert Griffiths et John Gold se firent breveter pour un appareil analogue.

D'un autre côté, M. Carillion devint, après 1815, le collaborateur des Dartigues et des Clément Desormes, et imagina un appareil à dresser basé sur le principe des planeuses anglaises et sur la rotation d'un moellon recevant, indépendamment du mouvement de rotation, un mouvement transversal et longitudinal.

Ces appareils, construits vers 1845, pour la glacerie Sainte-Marie d'Oignies, n'ont pas répondu aux résultats attendus et ont été abandonnés depuis une quinzaine d'années.

En 1862, en Belgique, MM. Bodson, Jacques et Lambot prenaient des brevets pour des appareils à dresser les pierres, etc. En 1868, la Compagnie de Floreffe obtenait un brevet pour des appareils à doucir basés également sur le principe du tour, appliqué au dressage.

Le savonnage des glaces se fait également à la machine depuis près de dix ans; les premiers appareils furent construits en 1849 en Angleterre par M. Obed Blake; les premiers appareils à savonner appliqués en Belgique, furent construits par M. Bernard, directeur de la glacerie Recquignies. Depuis, un grand nombre de brevets ont été pris sur le même sujet, à Floreffe, en 1858, à Roux en 1870; puis par M. Malevez vers 1875.

Pour le *doucissage*, les anciens appareils étaient formés d'une table fixe en pierre, sur laquelle étaient juxtaposées et taillées les glaces brutes.

Un long balancier en fer est suspendu au plafond de l'atelier par des chaînes et animé d'un mouvement de translation circulaire et entraîne dans le même mouvement une, deux et jusqu'à trois planches en bois de chêne, sous lesquelles sont vissées des lames de fer.

L'ouvrier doucisseur, qu'il se serve de cet appareil ou des suivants, projette successivement sur les glaces du gros sable, du sable fin; un courant d'eau continuel empêche ces matières de s'empâter entre les planchers et les glaces.

Les surfaces soumises à ce frottement s'aplanissent d'abord, puis se doucissent par l'empreinte de plus en plus fine qu'y laissent les grains des matières premières déjà indiquées.

Lorsqu'un côté des glaces est terminé, on les retourne de l'autre et on agit de même.

Une bouillie claire de plâtre sert à les sceller sur les tables.

Des appareils plus récents, usités dans toute l'Allemagne, diffèrent de ceux-ci.

La table fixe en pierre y est remplacée par une grande table en chêne d'une superficie de 15 mètres carrés; cette table reçoit un mouvement rectiligne et lent de va-et-vient. Deux grands plateaux en fer ou en bois, sous lesquels sont vissées également des lames en fonte, reçoivent un mouvement de translation circulaire par l'intermédiaire d'un fort châssis en fonte; ce châssis est supporté par quatre manivelles de $0^{m},90$ de diamètre.

Ce double mouvement, rectiligne pour la table et rotatif pour les plateaux,

ainsi que cette grande superficie de table, ont eu pour résultat de doucir deux fois plus vite que précédemment.

Cependant les surfaces obtenues ne sont pas encore parfaites et la casse atteint encore 4 à 6 pour 100.

Un troisième genre d'appareils à doucir, usité depuis longtemps en Angleterre et actuellement dans toutes les fabriques belges, l'emporte de beaucoup sur les deux premiers. Je veux parler de la plate-forme.

La table est en fonte ou en fer; elle est circulaire et animée d'un mouvement de rotation autour d'un pivot placé à son centre.

Deux plateaux à six ou huit pans, en chêne, pesant 200 kilogrammes chacun et sous lesquels sont encore vissées des lames en fonte, tournent au-dessus de la table et servent à doucir les glaces qui y sont scellées. Ils sont munis chacun d'un contrepoids, pour que l'ouvrier puisse ménager à volonté leur pesée sur les glaces.

Les plateaux sont supportés par un grand chariot transversal mobile sur quatre roues et d'un poids à peu près semblable à celui de la plate-forme.

La table fait habituellement trente-cinq tours par minute; elle présente généralement un diamètre de $5^{m},60$ et pèse 12 à 15 000 kilogrammes.

Le double mouvement de rotation de la table et des plateaux fournit un douci deux fois plus rapide que l'appareil précédent, des surfaces parfaitement planes et, malgré la vitesse et le poids considérable de l'appareil, une casse moindre; le prix du doucissage en a été de beaucoup diminué.

Afin de diminuer encore le prix de revient du douci, on a construit récemment des plates-formes d'un diamètre de $6^{m},70$. La table présente une superficie de 33 mètres carrés au lieu de 26; la vitesse étant restée la même, la production, pour une même somme de main-d'œuvre, s'est élevée de 1500 à 1700 mètres de glaces doucies par mois et par appareil; la machine a été portée à 60 chevaux, avec détente et condensation. En présence de ce résultat, je ne doute pas qu'à l'avenir on n'augmente encore le diamètre des plates-formes et leur rendement.

Comme on le pense bien, une pluie de brevets est venue s'abattre sur cet appareil important.

Dans telle plate-forme, comme dans celle dont il vient d'être question, la table seule est commandée par la machine, les plateaux sont entraînés par le frottement des glaces; dans telle autre, les plateaux entraînent la plate-forme; dans telle autre encore, table et plateaux sont commandés par la machine, tournant parfois dans le même sens, parfois en sens contraire; parfois la table est rivée à son pivot, parfois elle peut s'en détacher pour être enlevée après chaque opération au moyen d'un chariot; parfois ce sont les plateaux qui peuvent s'écarter au moyen d'un autre chariot comme dans la première plate-forme décrite; d'autres fois deux tables sont travaillées en même temps par un seul et unique grand plateau; parfois la table est recouverte de lames de fer, parfois de tôles en fonte; parfois elle est toute en bois, comme il en a été fait pour la Russie; parfois la plate-forme est commandée par engrenage, par courroie ou directement par la manivelle de la machine; tantôt, enfin, la machine est horizontale, tantôt verticale.

L'esprit des inventeurs, on le voit, s'est courageusement multiplié dans la construction de cet appareil et la nécessité d'échapper à la multiplicité des brevets a fait surgir des combinaisons de toute nature.

Les glaces étant doucies des deux côtés, on les passe à la seconde opération, le *savonnage*.

Par ce travail, les surfaces doucies sont, comme on l'a dit, frottées verre sur verre avec interposition de quatre numéros successifs d'émeri de plus en plus fin. Le mouvement est beaucoup plus lent qu'au douci, dix à quatorze révolutions par minute.

Il y a quelques années, le savonnage se faisait partout à la main; afin de réduire le coût de la main-d'œuvre, on a imaginé des appareils à savonner.

Ils sont actuellement de deux espèces; mais tous imitent mécaniquement le mouvement du savonnage à la main, qui consiste à promener sur une glace fixe une glace mobile dont le centre décrirait un 8 allongé.

Dans tous les appareils, la glace fixe repose sur une table en pierre, recouverte de toiles mouillées destinées à empêcher le glissement; habituellement la table est fixe, on en a cependant construit depuis peu qui sont soumises à un mouvement de va-et-vient.

La première espèce d'appareils à savonner opère le mouvement de la glace mobile au moyen de deux bras de levier; la seconde espèce, au moyen d'un seul bras de levier.

Dans le premier système, les deux bras de levier partent du moteur et aboutissent à une caisse en bois, qui pèse sur la glace mobile; ils agissent comme les bras de l'homme; ils poussent et attirent successivement la caisse; mais comme l'un est en retard sur l'autre, la caisse et sa glace se meuvent tantôt de droite à gauche et tantôt de gauche à droite.

Dans le second système à un seul levier, le même mouvement se produit; seulement, comme la caisse n'est attaquée que par un point d'attache au lieu de deux, elle ne tend plus à pivoter entre ces deux points et laisse par conséquent moins facilement échapper sa glace mobile; de là moins de casses et moins d'accidents possibles.

Un appareil à deux leviers ne commande qu'une ou deux tables; celui à un levier peut en commander quatre; il peut savonner en même temps huit grandes glaces ou trente-deux petites; sa construction est moins coûteuse, le prix de revient de son travail est de 55 pour 100 du prix du savonnage à la main.

Le système à un levier, dont M. Delmarmol est l'auteur, ayant dû, comme toujours, éviter les brevets, fonctionne depuis sept ans, avec avantage sur le système à deux leviers.

Les glaces étant savonnées des deux côtés, on les soumet à la *troisième opération*, celle du *polissage*.

Depuis fort longtemps le polissage ne se fait plus à la main (pl. XVIII), mais au moyen d'appareils mécaniques de deux sortes : les plus anciens, qui impriment aux feutres ou polissoirs un mouvement de va-et-vient rectiligne (fig. 236); les nouveaux qui leur impriment un mouvement de translation circulaire.

Dans les uns comme dans les autres, la table est animée d'un mouvement rectiligne de va-et-vient; elle doit être carrée dans les anciens et peut être en

parallélogramme dans les nouveaux; parfois elle repose simplement sur un chariot, d'autres fois elle y est rivée.

Les appareils à rotation, introduits seulement en 1870 en Belgique, détrônent complètement les anciens appareils par la rapidité du travail, ainsi que par la diminution qu'ils ont apportée dans le prix de revient du polissage. Ceux qui ont été

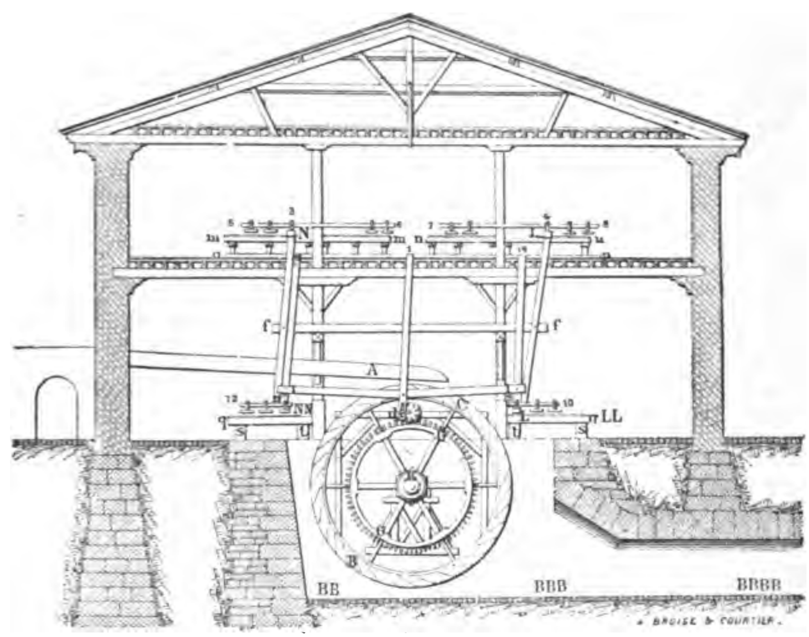


FIG. 236.

Élévation latérale, et coupe par le milieu de la longueur du coursier. — BB, fond du coursier; BBB, trompe servant d'embouchure au coursier du côté d'aval; BBBB, coursier du côté d'aval; BC, la grande roue à augets; E, tourillon à l'extrémité de l'axe; GG, hérisson fixé sur l'arbre; *c*, lanterne; *d*, manivelle de la lanterne; AX, coursier du côté d'amont, par lequel l'eau arrive sur la roue; II, tirant pour communiquer le tirant aux châssis; *ff*, jumelles fixées sur les entre-toises de la cage de charpente qui renferme la grande roue NN; LL, profils des longues barres du châssis inférieur; N, L, profil des longues barres du châssis de l'atelier supérieur; NN 13, LL 14, chaînes qui suspendent le châssis inférieur; elles sont mobiles aux points 13, 14; I *d*, troisième chaîne ou levier mobile au point 1, et dans la longue mortaise *d* duquel passe le coude de la manivelle, qui imprime à ces trois pièces un mouvement d'oscillation; 11, 3, LL, 4, leviers du premier genre mobiles en *ff*, qui communiquent le mouvement au châssis supérieur N, L; ces deux leviers sont assemblés à charnière au châssis inférieur; 9, 10, 11, 12, règles fixées aux longs côtés du châssis inférieur, lesquelles portent chacune deux polissoirs; *q r*, tables de pierres sur lesquelles les glaces sont scellées pour être polies; *ft*, *ft*, pierres sur lesquelles les tables sont posées.

Au second étage, *o p*, patins et chevalets de charpente qui portent les tables *mm*, *nn*, sur lesquelles les glaces sont posées pour être polies; N, L châssis supérieur; 3, 4, fourches qui tiennent les règles 5, 6, 7, 8, sur chacune desquelles il y a quatre polissoirs montés.

introduits en Belgique à cette date, sont originaires de l'Allemagne ; leurs tables sont en chêne et mesurent 15 mètres de superficie; les polissoirs, au nombre de dix-huit, font quatre-vingts révolutions par minute; en huit heures de travail un côté des glaces est poli; auparavant il fallait douze à quinze heures

pour polir une surface de moitié plus petite; il fallait des ouvriers polisseurs spéciaux ayant fait un long apprentissage de plusieurs années; on a simplement, avec ce système, employé des femmes dont le travail, en général, est au moins aussi intelligent et aussi soigné.

Un grand châssis carré en fonte repose au-dessus de la table sur six manivelles; il est relié transversalement par trois lignes de poutrelles accouplées entre lesquelles sont maintenues les broches des dix-huit polissoirs.

Trois ans plus tard, on a introduit en Belgique un appareil analogue d'origine française; il polit également à rotation, suivant le principe de l'appareil allemand; mais sa table ne mesure que 12 mètres carrés; il produit donc moins de verre poli que l'autre; il fonctionne avec douze polissoirs et travaille un côté en huit heures.

M. Malevez a apporté récemment des modifications aux appareils à polir les glaces, appareils qu'il avait fait breveter antérieurement. Le but essentiel de ces additions et modifications est d'obtenir l'abaissement et le relevage automatiques des polissoirs et de la table, tout en réalisant une plus grande simplicité de construction.

L'élévation et l'abaissement des croisillons supportant les polissoirs s'effectuent à l'aide d'un mouvement vertical ascendant et descendant communiqué aux arbres qui supportent ces croisillons.

A cet effet on monte ceux-ci dans des crapaudines mobiles, lesquelles reposent sur des cames mises en mouvement d'une façon appropriée telle que, par exemple, à l'aide d'arbres accouplés, l'un de ceux-ci pouvant être actionné dans deux directions différentes par poulies.

Pour rendre dépendants l'un de l'autre le mouvement vertical de la table et celui des polissoirs, on relie l'arbre amenant par excentriques le mouvement de la table avec l'arbre horizontal inférieur accouplé à l'arbre des cames opérant le mouvement ascendant et descendant des croisillons.

Application de la pression hydraulique à la manœuvre des appareils à doucir et à polir les glaces. — A la suite de recherches incessantes on est arrivé à faire le travail de doucissage et de polissage des glaces scellées sur une même table sans interruption, c'est-à-dire que lorsque la table est restée quelque temps sous la table à doucir et que cette opération est terminée, on transborde ladite table sous l'appareil à polir.

Pour arriver à rendre les tables transbordables, on a dû les pourvoir de roues montées sur essieux et rendre facile leur séparation d'avec l'arbre vertical sur lequel elles sont maintenues en suspension et qui les entraîne dans un mouvement de rotation pendant le travail du douci et du poli.

Pour dégager la table plate-forme de son arbre vertical, on a employé jusqu'ici des moyens mécaniques différents qui n'ont pas donné de résultats satisfaisants à cause de leur lenteur, du temps perdu et de la dégradation rapide des différents organes de ces mécanismes baignés constamment dans l'eau et le sable.

M. Haut a rendu beaucoup plus faciles ces déplacements de la plate-forme par l'application de la pression hydraulique. (Voir pl. XVIII *bis* et XVIII *ter*).

La manœuvre à exécuter consiste dans la montée des tables pour les amener à la hauteur du point de travail et dégager les roues des rails qui les ont amenées, et aussi dans la descente des tables qui viennent reposer leurs roues sur les rails qui les supportent.

Ces tables sont ensuite abandonnées par leur arbre vertical et dirigées sous l'appareil à polir.

Les avantages de l'application que vient de faire M. Haut sont d'après lui les suivants :

1° En raison de la facilité et de la rapidité des manœuvres, on peut employer dans le travail des glaces des tables plates-formes de 8 mètres de diamètre et obtenir ainsi par appareil une production de plus du double de celle des autres appareils;

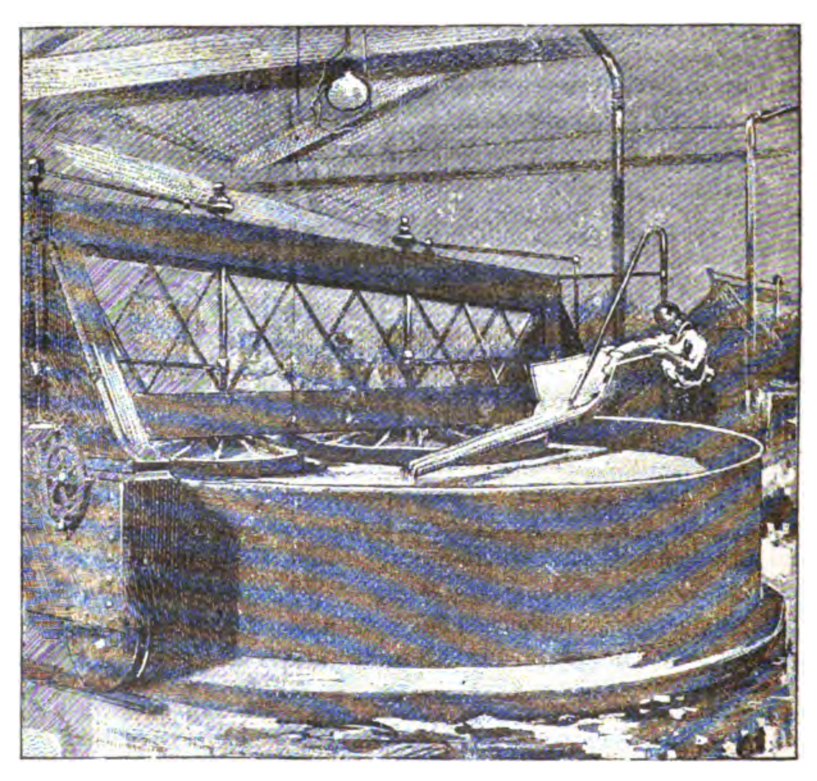


Fig. 237.

2° On supprime l'usure rapide et l'entretien continuel des mécanismes de relevage existants;

3° On réduira la main-d'œuvre, les manutentions étant remplacées par la manœuvre automatique et sans le secours d'aucun aide, autre que celui qui conduit l'appareil;

4° On arrive à faire les manœuvres de tables dans un délai de temps évalué au cinquième de celui employé aujourd'hui.

La figure 237 donne une idée du fonctionnement d'une plate-forme à doucir.

Hypothèse sur le poli du verre. — Pendant le polissage on observe, à certains moments du travail, une notable élévation de température qui résulte du frottement des polissoirs sur le verre.

On sait qu'entre le verre et les polissoirs (lesquels sont formés de bois ou de métal garnis de feutres) on interpose de la potée (peroxyde de fer) en suspension dans l'eau.

Certains praticiens ajoutent même du sulfate de fer pour activer le polissage.

On a émis l'avis que le poli du verre est une sorte de vernis superficiel qui probablement est formé de silicate de fer. Ce composé doit prendre naissance par suite de l'action mécanique qui est exercée à la surface du verre; cette action donne lieu à un dégagement de chaleur qui facilite la formation du sel de fer et son adhérence à la surface du verre.

Ce qui semble donner raison à cette manière de voir, c'est que si accidentellement il tombe quelques gouttes d'eau sur un morceau de verre qui vient d'être poli et principalement s'il est encore chaud, on voit aussitôt se produire une tache à cet endroit; le poli est altéré et il faut repolir pour faire disparaître la tache.

D'autre part, si on prend un certain nombre de morceaux de verre poli assez épais, c'est-à-dire ayant de 12 à 15 millimètres d'épaisseur et qu'on en superpose un assez grand nombre pour constituer une hauteur de 40 à 50 centimètres, on ne verra pas les caractères ou le dessin placé à la base, tandis qu'on apercevra parfaitement ce même dessin au travers d'un seul morceau de verre poli, ayant même hauteur. Vingt dalles superposées formant une hauteur de 40 centimètres correspondent, comme perceptibilité, à un morceau de verre de $1^{m},20$ de hauteur.

On pourra objecter que dans le cas de la superposition de morceaux de verre il se trouve entre chacun d'eux une couche d'air qui dévie les rayons lumineux. Cependant il est peu probable que l'on puisse attribuer à ces couches d'air une influence aussi considérable, et il est à supposer que l'effet que nous venons de signaler est plutôt dû aux couches de vernis qui viennent atténuer la transparence du verre et augmenter sa coloration.

D'autre part, on a constaté bien des fois et en différents endroits le fait suivant observé sur des glaces nouvellement polies, placées verticalement en piles les unes contre les autres.

Quelques-unes de ces glaces adhéraient parfois si énergiquement entre elles qu'aucune action mécanique n'était capable de détruire cette adhérence.

En séparant par fragments les deux surfaces en contact, on enlevait cette sorte de vernis, ce poli du verre.

Je ne m'étendrai pas davantage sur le travail et les appareils du poli, j'ai voulu signaler seulement les points saillants.

Je terminerai ce résumé par la description d'un appareil à sceller les glaces, qui est également originaire de l'Allemagne. Son côté remarquable est que, jamais, il ne laisse échapper une glace à sceller; ses dimensions considérables

permettent de sceller une glace de 15 mètres de superficie, mécaniquement; avec l'appareil ordinaire on ne peut arriver à de tels résultats.

Le but qu'on se propose, en faisant usage d'un appareil à sceller, est de disposer jointivement sur une table à polir une certaine quantité de glaces savonnées d'épaisseurs égales ou différentes, de façon à ce qu'elles présentent une seule et même surface parfaitement plane.

L'appareil ordinaire, usité en Belgique, se compose d'un châssis mobile dans lequel sont assujetties deux ou trois glaces épaisses formant une surface unie.

Ce châssis à glace se meut au moyen de chaînes et de cabestans, comme un couvercle à charnière; il s'ouvre pour recevoir les glaces à sceller et se referme pour les déposer sur une table à polir.

Mais dans ce mouvement, les glaces s'échappent facilement, tombent à terre, se brisent et blessent parfois les ouvriers scelleurs.

C'est pour parer à ce danger, à ces casses, en même temps pour arriver au scellage mécanique des grandes glaces, que l'appareil allemand a été conçu.

Il se compose d'une charpente de cinq mètres de hauteur, portant un arbre horizontal en fer; un cabestan imprime un mouvement de rotation à cet arbre qui, par l'enroulement de deux chaînes, fait monter ou descendre à volonté deux forts disques en fonte; ceux-ci sont percés chacun de six trous dans lesquels on enfonce des broches attachées aux extrémités des tables à polir.

Dans cette position l'appareil permet d'élever ou d'abaisser ensemble une couple de tables à polir entre lesquelles se trouvent intercalées des glaces à sceller; au moment où ces deux tables sont élevées, on leur imprime un mouvement de rotation, en sorte que celle du dessous revient au-dessus; les glaces posées sur la première table se trouvent sur la seconde et s'y scellent au moyen d'une couche de plâtre versée d'avance; on redescend les deux tables, on enlève celle qui était primitivement en dessous et l'autre va au poli avec ses glaces scellées.

On conçoit que les glaces emprisonnées pendant le mouvement de rotation entre les deux tables ne peuvent plus s'échapper.

Sous le rapport de l'économie de casse cet appareil est excellent; les manœuvres seules étaient plus pénibles qu'avec l'appareil ordinaire; aussi, pour parer à cet inconvénient, a-t-on appliqué la vapeur au cabestan, de sorte que tous les mouvements se font mécaniquement avec moins de peine qu'autrefois.

Construit dans de telles conditions, ce système permet de sceller plus de 4000 mètres par mois.

Par le travail mécanique (doucissage, savonnage, polissage) la glace perd au moins le tiers de son épaisseur, par conséquent le tiers de son poids. Une glacerie produisant 100 000 mètres carrés de glaces annuellement, soit en verre brut, environ 3 000 000 de kilogrammes de verre, perd 1 000 000 de kilogrammes de verre, c'est-à-dire une énorme quantité de matières premières, de combustible, de main-d'œuvre, par suite de la nécessité d'obtenir une *surface plane*. En mettant en œuvre 1 000 000 de kilogrammes de verre perdu, qui s'ajoutent aux frais du travail de doucissage, savonnage, polissage, le prix de revient pourrait s'abaisser à un degré qui exercerait l'influence la plus salutaire sur la fabrication. Actuellement cette quantité énorme de verre, perdue par suite du

mode de travail, est jetée avec les boues provenant du doucissage et le tout forme des amas encombrants qui nécessitent une nouvelle dépense pour les enlever des abords des glaceries. On voit donc tout l'intérêt qui s'attache à l'obtention immédiate d'une glace bien plane afin de diminuer le plus possible le travail d'user qui a de si grands et de six coûteux inconvénients.

MACHINE BONTA DESTINÉE AU LAMINAGE DU VERRE. — MACHINE A DÉGROSSIR ET A POLIR LES GLACES. — FOUR A RECUIRE

Jusqu'à présent on a fabriqué les glaces par un procédé très simple. Le verre fondu est versé sur une table de coulée, étendu par un rouleau et immédiatement après, introduit dans une carcaise ou four à recuire. Ce four est très chaud quand on y introduit la glace; mais on laisse baisser graduellement sa température et, après un temps suffisant qui dépend de l'épaisseur de la glace, on le laisse refroidir complètement. On retire alors la glace et on la dégrossit sur une de ses faces par un procédé mécanique.

On la retourne ensuite à la main, opération qui présente un certain danger et cause de fréquentes ruptures. On dégrossit ensuite l'autre face de la glace. Pendant l'opération du dégrossissage, la glace est fixée sur une couche de plâtre.

Par suite des irrégularités qui surviennent pendant l'opération du laminage et des soulèvements ou déformations du sol du four à recuire, il faut quelquefois user une grande quantité de verre avant d'obtenir une surface plane. En Amérique on veut faire tout autrement.

Nous allons décrire une machine à laminer le verre, d'un type nouveau et ingénieux. Cette invention est due à M. J.-W. Bonta, de Wayne (Pensylvanie).

La planche XV *bis* et la figure 238 donnent une idée exacte de la machine dont nous allons expliquer le fonctionnement, d'après l'inventeur :

« Sa base, composée de poutres en tôle, présente deux rails parallèles que parcourt d'un bout à l'autre la table en fer et acier qui porte la glace pendant son laminage. Au-dessus s'élève un bâti surmonté d'un pont et portant un rouleau. Sur le pont est établi un moteur à vapeur avec sa chaudière, pour commander toutes les parties de la machine. Cette dernière est pourvue de deux tables de coulée : ce sont des tables plates en métal dont une seule, à la fois, se trouve en position de parcourir la longueur des rails. La seconde table est supportée à l'arrière de la machine, renversée et à quelque distance au-dessus des rails longitudinaux. Sur la planche , on voit une des tables en avant : elle vient de recevoir sa charge de verre fondu. Elle repose sur des supports qui, à leur tour, reposent sur les rails. De chaque côté de la table se trouvent des crémaillères qui engrènent avec des pignons disposés des deux côtés du rouleau.

» Derrière le bâti de ce dernier, on voit la seconde table, renversée et portée

à quelque distance au-dessus des rails ou voies. La table ainsi soulevée peut être descendue et relevée de nouveau au moyen de la force produite par la même machine à vapeur.

» Derrière elle on voit une roue d'engrenage.

» L'axe longitudinal de la table aboutit au centre de cette roue. Si l'on fait tourner la roue, la table tourne avec elle.

» La description du fonctionnement de la machine achèvera d'en expliquer la construction.

» Si on la prend dans la position que représente la planche , la machine à vapeur, dont le mouvement est entretenu constamment, est embrayée avec le rouleau disposé à la hauteur que l'on veut, suivant l'épaisseur de la glace à produire. Le rouleau commence à tourner et les pignons de ses extrémités,

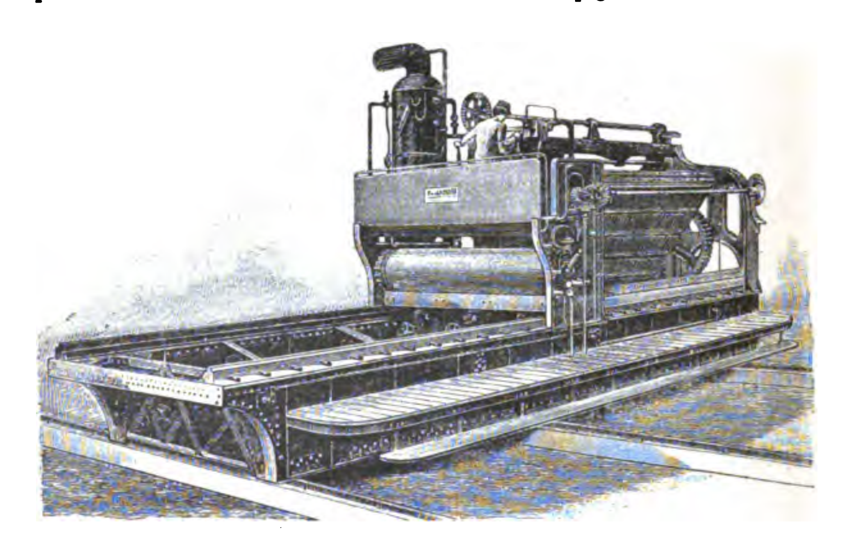


Fig 238.

agissant sur les crémaillères, entrainent la table et la glace vers l'arrière de la machine en les faisant passer au-dessous du rouleau qui lamine la masse fondue et en forme une plaque. Quand la table a atteint l'extrémité arrière de la machine, on arrête le rouleau; la table supérieure qui, on s'en souvient, est dans une position renversée, est descendue sur le verre chaud, puis les deux tables sont assujetties l'une à l'autre.

» On les enlève alors, pendant que le verre est pris entre elles, et on les retourne.

» La figure 238 représente cette phase de l'opération.

» Dès qu'elles ont atteint la position horizontale, les tables sont redescendues sur les supports; on soulève celle de dessus, sur laquelle le verre a été laminé, on fait marcher le rouleau en sens inverse et la glace repasse sous lui, de sorte que le verre est laminé de l'autre côté. Presque tout le travail de la machine est fait par le moteur à vapeur qui, à lui seul, commande tout

le mécanisme et produit jusqu'à la liaison des tables. Partout, la machine comporte les plus ingénieux détails de construction; mais l'espace nous manque pour les décrire.

» Ce qui précède s'applique surtout au laminage du verre; mais la faculté de retourner les tables conduit à la fabrication des glaces en relief de plus grande dimension. On peut, en effet, substituer à la table plate sur laquelle le verre est d'abord laminé un moule représentant des figures quelconques et de toutes grandeur, dans les limites permises par la construction de la machine. Sur cette surface on coule le verre fondu et l'on fait passer le moule, comme nous l'avons décrit, sous le rouleau qui fait pénétrer la matière ou le « métal », comme l'appellent les verriers, dans les moindres détails de la figure. Quand elle arrive à l'arrière de la machine, la glace est serrée entre les tables, comme nous l'avons expliqué; l'ensemble est soulevé et renversé, le moule est soulevé et laisse la glace en relief achevée et posée sur son revers, les figures en dessus, prête à revenir sur le devant de la machine, le rouleau étant au préalable soulevé au-dessus de la glace pour donner passage à celle-ci. La glace peut alors être introduite dans la carcaise ou four à recuire.

» Pour permettre le transport à ce four, la machine entière, pesant près de 70 tonnes, est montée sur des rails transversaux au moyen desquels on peut l'amener en face d'un four quelconque faisant partie de plusieurs séries de fours semblables. Des chaînes, commandées par un treuil à bras disposé à l'avant de la machine tirent la plaque de verre dans le four où elle doit se recuire. Ce système de retournement d'une grande feuille de verre est si efficace que son emploi dans l'opération du polissage était presque une conséquence prévue. Aussi M. Bonta a-t-il inventé une autre machine destinée au polissage des glaces et dont la partie arrière de sa machine à laminer le verre représente le principe.

» La grande feuille de verre tirée de la carcaise refroidie est couverte de plâtre; on descend alors sur elle une des tables de la machine à polir. Quand le plâtre est pris on serre la glace entre les tables. On retourne le tout au moyen de la machine à vapeur, puis on dégrossit et polit l'autre surface de la glace.

» Cela fait, on recouvre de plâtre la seconde face du verre et on descend la seconde table par-dessus. Quand tout est en ordre, le mécanisme fait tourner les deux tables avec la glace serrée et fixée entre elles, il descend le tout puis enlève la table supérieure. On retire alors le plâtre et la seconde face du verre est dégrossie et doucie. Si l'on se rappelle la grandeur des glaces qu'on coule maintenant, on comprendra l'immense progrès réalisé par l'appareil à polir, comparativement à l'ancien système de retournement des glaces à bras d'hommes. Ce système a incidemment un autre avantage. Le plâtre, déposé sur la glace et non sur la table, forme avec le verre une union plus complète, par suite de l'exclusion des bulles d'air. Ces bulles ont de fâcheux effets; là où il s'en trouve, le verre cède pendant le dégrossissage, et il faut prolonger ce travail pour arriver à dresser toute la surface de la glace.

» Dans le système de carcaise qu'il a imaginé, l'inventeur a introduit un système de ventilation destiné à prévenir le soulèvement de la sole du four.

» Si l'on se reporte à la coupe représentée par la figure, on voit immédiatement au-dessous de la chambre de la carcaise la sole en briques réfractaires juxtaposées. Sous celles-ci vient une rangée de briques réfractaires de la forme représentée à gauche de la partie inférieure de la figure. Ces briques sont placées verticalement. A la partie droite inférieure de la figure, elles sont représentées en plan et laissent entre elles des vides.

» La substructure est formée d'une série de piliers en briques ou de murs de fondation.

» A la base des intervalles qui séparent les piliers sont disposés des tuyaux

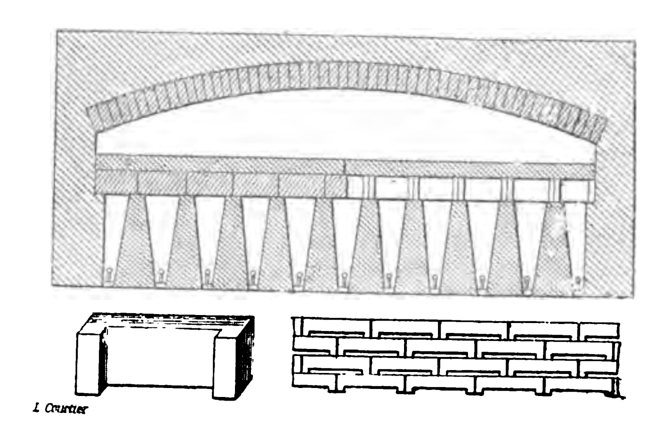


Fig. 239.

souffleurs dans lesquels arrive de l'air comprimé. Cet air en s'échappant maintient les fondations froides et empêche tout soulèvement de la sole.

» Le laminage des deux surfaces du verre et le recuit dans une carcaise à sole parfaitement plane doivent produire, pense-t-on, une réduction considérable de la quantité de verre qu'il faut enlever lors du dégrossissage.

» La table à polir perfectionnée, la coulée du plâtre au-dessus de la surface des glaces et la sécurité de la méthode de retournement des glaces semblent devoir assurer une grande économie en évitant les pertes provenant du bris des glaces. En outre, la machine à laminer apporte, comme on peut le voir, la possibilité, dit-on, de laminer des glaces en relief. On réalisera aussi, dans l'ensemble des opérations, une économie sur la main-d'œuvre. »

ESSAIS DE RÉSISTANCE DU VERRE DE SAINT-GOBAIN A LA FLEXION

RÉSULTATS OBTENUS PAR M. THOMASSET (1876-1877) ET COMMUNIQUÉS A LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

	VERRE BRUT.		VERRE POLI.	
Numéro.	Épaisseur.	R = coefficient de rupture par cent. carré	Épaisseur.	R = coefficient de rupture par cent. carré.
	millim.		millim.	
1	30	291,75	10	397,2
2	30	242,86	10	351,9
3	30	292,65	10	405,0
4	27	290,65	12	288,0
5	26	277,63	11, 7	282,70
6	24	230,80	11,5	384,30
7	23	272,80	11,5	314,18
8	20	275,70	9,7	284,40
9	18	239,50		
10	16,2	261,30		
11	16	209,39		
12	13	229,20		
13	11,7	271,80		
14	11,2	259,77		

Verre brut. Moyenne des essais R = 260,414
Verre poli. — R = 343,460

RÉSULTATS OBTENUS A L'ENTREPÔT DE LA COMPAGNIE RUE DE BOUCRY (PARIS).

	VERRE BRUT.		VERRE POLI.	
Numéro.	Épaisseur.	R = coefficient de rupture par cent. carré.	Épaisseur.	R = coefficient de rupture par cent. carré.
	millim.		millim.	
1	27	207,0	20,5	239,0
2	24	271,4	20,5	336,0
3	23	176,0	20,0	321,4
4	21	264,5	19,0	283,0
5	19	259,0	18,0	344,0

Moyenne des essais faits à l'entrepôt, nos 1 à 5, le 4 septembre 1877, en présence de M. Barois, ingénieur du Trocadéro:

Dalles brutes. — R = 235,6
Dalles polies. — R = 324,7

Ces résultats mettent bien en relief la supériorité, comme résistance, à égalité d'épaisseur, du *verre poli* sur le *verre brut*.

Une partie des glaces est vendue à l'état de glaces de vitrages, c'est-à-dire après le poli. Une autre partie est destinée à la miroiterie : ce sont les glaces de choix.

La transformation d'une glace en miroir se fait en appliquant sur une de ses faces une mince lame ou couche d'un métal réfléchissant. On étame, on argente, et on platine les glaces.

Étamage des glaces. — Sur une grande table de marbre, d'une planimétrie convenable, on étend une feuille d'étain un peu plus grande que la glace à étamer. A l'aide d'une brosse, patte de lièvre, on rend cette feuille adhérente à la table, on enlève tous ses plis. On *mouille* l'étain en promenant sur toute la surface de cette feuille un peu de mercure, l'étain commence à *s'amalgamer*. On augmente la quantité de mercure versée sur l'étain, on la maintient sur la feuille à l'aide de petites bandes de verre poli, placées sur les côtés et à l'un des bouts de cette feuille, de façon à avoir une couche liquide de quelques millimètres d'épaisseur.

La table de marbre est encastrée dans un châssis en bois, muni de rigoles, de façon à recueillir le mercure qui s'écoule.

En tête de la table de marbre, l'ouvrier place une petite bande de papier sur laquelle vient poser le bord de la glace à étamer. Cette glace est maintenue horizontalement, poussée, de façon à ce qu'elle appuie dans la couche de mercure, sur la feuille d'étain, poussant lentement devant elle le mercure en excès, évitant l'interposition de bulles d'air entre la glace et le métal. Cela fait, on charge de poids la glace ainsi traitée, on incline la table, de façon à favoriser l'écoulement du mercure non amalgamé et fixé. Cet égouttage dure vingt-quatre ou quarante-huit heures, puis on incline la glace, on la place dans un égouttoir incliné, et on l'y maintient jusqu'à ce que l'étain *soit sec*, ce qui dure de quinze jours à un mois et même plus, suivant les dimensions des glaces.

Pour combattre l'influence pernicieuse des vapeurs de mercure, et les effets de son absorption, on doit ventiler les ateliers d'étamage, favoriser cette ventilation en répandant sur le sol de l'ammoniaque et même faire prendre aux ouvriers des boissons iodurées, d'une façon intermittente.

Argenture des glaces. — Liebig observa en 1835 que l'aldéhyde chauffé avec du nitrate d'argent ammoniacal, revivifie le métal qui couvre alors d'une couche métallique brillante le vase dans lequel s'opère cette réaction. Le procédé employé aujourd'hui a été imaginé par Petitjean il y a environ vingt-cinq ans, perfectionné par MM. Brossette, et est exploité actuellement à Paris, par la Compagnie de Saint-Gobain et par quelques miroitiers.

Le milieu de l'atelier d'argenture est occupé par une grande table carrée en fonte, à double fond, bien plane, parfaitement horizontale, remplie d'eau que des tuyaux de vapeur, disposés en serpentin, élèvent à une température de 30 à 40 degrés centigrades. Cette table est recouverte d'une toile vernie sur laquelle est étendue une couverture de coton. Sur cette table on dépose à plat les glaces bien découpées et lavées à l'eau distillée auxquelles on va faire subir l'opération qui remplace l'étamage. La solution argentifère, dont nous donnons la composition, est versée sur la glace, elle y reste par le seul fait de l'attraction moléculaire des bords de la glace. Sept à huit minutes après que le liquide a été versé, des marbrures d'argent précipité se montrent çà et là, ces taches brillantes se propagent comme des taches d'huile, tous les vides se remplissent, toutes les solutions de continuité s'effacent; en vingt-cinq à trente minutes, la glace est complétement argentée. Alors, sans retirer celle-ci de dessus la table, on l'incline, on la lave au moyen d'une peau de chamois imbibée d'eau distillée, afin d'entraîner la partie qui ne s'est pas déposée et qui s'écoule avec le liquide dans une rigole bordant l'appareil, puis on replace la glace horizontalement; on verse à sa surface une liqueur aussi limpide que la précédente, composée des mêmes éléments, mais qui en diffère par les proportions de ceux-ci; et, quinze minutes après, un second dépôt destiné à compléter et à renforcer le premier, s'étant ajouté à celui-ci, l'argenture de la glace est achevée. On a déposé ainsi à la surface de la glace de 6 à 7 grammes d'argent par mètre carré.

La glace argentée est placée, de champ dans l'atelier, dont la température est de 25 à 28 degrés.

Lorsque le dépôt est sec, on le recouvre d'une couche de vernis, qui sèche très rapidement, puis d'une couche de peinture au minium ou d'une feuille de papier collé sur le vernis.

Les liqueurs versées sur la glace et produisant le dépôt d'argent sont ainsi composées :

La première solution se prépare ainsi : 100 grammes de nitrate d'argent sont dissous dans 62 grammes d'ammoniaque pure à 0,870 ou 0,880 de densité, puis on ajoute 600 grammes d'eau distillée. Cette dissolution étant filtrée, on y ajoute seize fois son volume d'eau distillée; puis, goutte à goutte, en agitant sans cesse, 7 grammes 1/2 d'acide tartrique dissous préalablement dans 30 grammes d'eau distillée.

La seconde solution se prépare de même, elle ne diffère de la précédente que par une dose double d'acide tartrique.

On a encore proposé l'emploi des liqueurs ci-après, dont les doses correspondent à l'argenture d'un mètre carré de glace :

A.	Eau distillée.	1 litre.
	Sel de seignette.	10 grammes.

A cette liqueur on ajoute environ $0^{gr},5$ de nitrate d'argent, on porte à l'ébullition jusqu'à dissolution complète.

D'autre part on prend :

B.	Nitrate d'argent fondu blanc.	5 grammes.
	Ammoniaque pure	3 —
	Eau distillée.	1 litre.

On fait dissoudre le nitrate d'argent dans l'ammoniaque en agitant jusqu'à complète dissolution, on ajoute l'eau et l'on verse dans un bocal en filtrant.

Pour l'usage, on mélange les deux liqueurs en versant alternativement le contenu des deux bocaux l'un dans l'autre; on répand sur la glace une quantité suffisante du mélange qu'on étend avec une peau de chamois très propre, puis on ajoute immédiatement toute la liqueur qui s'étend d'elle-même sur la glace sans s'écouler par les bords.

Après trente ou quarante minutes au plus, l'argent est précipité à l'état métallique et adhère fortement à la glace. On enlève alors le liquide en soulevant la glace par un côté, on l'éponge légèrement et on la rince avec un peu d'eau. On la fait égoutter en la plaçant debout, et lorsqu'elle est sèche, on y passe avec un pinceau une couche de vernis ou de peinture préservatrice.

La peinture recouvrant la couche d'argent se soulève, s'écaille quelquefois, et donne passage aux émanations sulfhydriques, qui attaquent l'argent et donnent un aspect un peu jaunâtre à la glace argentée; les bords de la glace deviennent noirs; pour parer à cet inconvénient il est bon de peindre les tranches de la glace argentée.

Amalgamation des glaces argentées. — M. Lenoir a imaginé d'arroser le dépôt d'argent formé sur la glace (avant l'application du vernis et de la peinture) avec une solution étendue de cyanure de mercure et de potassium, un amalgame d'argent prend naissance, qui est plus blanc, plus adhérent que l'argent,

l'excès d'argent rentre en dissolution et est éliminé par un lavage. La teinte de la glace ainsi amalgamée est de beaucoup préférable à celle de la glace argentée, elle est plus blanche, et se rapproche plus comme aspect de la glace étamée.

Platinage des glaces. — Le procédé de platinage du verre a été décrit par M. Ladersdorff, qui l'a expérimenté dès 1840. M. Dodé a remis ce procédé à la mode et l'a modifié il y a une quinzaine d'années. Voici en quoi il consiste :

Solution n° 1.

Essence de lavande..............	15 parties.
Chlorure de platine...............	3 —

Mélanger dans un mortier et conserver dans un flacon bouché à l'émeri.

Solution n° 2.

Essence de lavande..............	15 parties.
Chlorure de platine..............	4 —
Sous-nitrate de bismuth en poudre impalpable....................	2 —

Mélanger et conserver comme le n° 1.

Prendre la vitre ou glace bien nettoyée et étendre également, à sa surface, à l'aide d'un pinceau, la solution n° 1. Passer au moufle ou sur la pierre à étendre jusqu'à ce que le verre soit assez ramolli pour que la platine y adhère. Laisser refroidir. Appliquer ensuite une couche de la solution n° 2 par-dessus la couche n° 1 et repasser au feu.

Lorsque les objets qui ont reçu le lustre sont refroidis, on les frotte, dit M. Ladersdorff, avec un chiffon de coton chargé de craie, lavée et humide; leur éclat est ainsi beaucoup relevé, et d'ailleurs le frottement enlève les dernières traces d'essences ou les cendres qui sont restées à la surface par la combustion de cette matière.

Le platinage étant obtenu par cuisson au moufle, présente plus de solidité que l'argenture et surtout beaucoup plus que l'étamage.

Les inventeurs avaient espéré que, grâce à l'adhérence énergique du métal, qui fait en quelque sorte corps avec le verre, il deviendrait inutile de recouvrir la couche de platine d'un enduit protecteur; la face platinée devait, au contraire être placée du côté visible du miroir et servir directement de surface réfléchissante.

Les rayons n'ayant plus à traverser l'épaisseur du verre, comme cela a lieu dans les miroirs argentés, on pouvait faire usage de glaces travaillées d'un seul côté, ce qui permettait de les couler sous une épaisseur plus faible et de réaliser une économie de matière et de main-d'œuvre.

D'autre part le verre servant simplement de support à la couche de platine, et étant masqué par le métal, on n'avait plus à se préoccuper de sa qualité ni de sa blancheur. Les espérances des inventeurs ne se sont pas réalisées.

Tout d'abord, le platinage est bien inférieur comme aspect à l'étamage et à l'argenture; il est beaucoup moins brillant et communique une teinte sombre aux objets réfléchis. En outre, les glaces platinées sont toujours quelque peu

déformées par le passage au moufle; il est, quant à présent, impossible d'obtenir des glaces platinées de grandeur supérieure à 120×66, et encore faut-il ajouter que ces glaces sont généralement défectueuses.

Pour ces diverses raisons, les glaces platinées n'ont pas été adoptées par le commerce.

Elles ne sont employées que pour les miroirs communs de petites dimensions et pour garnir les vitres des rez-de-chaussées et des bureaux. Pour cette dernière application, on place la face non platinée à l'extérieur. Grâce à cette disposition et à l'obscurité relative de l'intérieur, on se trouve à l'abri des regards, tout en se ménageant la possibilité de voir les objets qui sont à l'extérieur.

Nous signalerons l'application qui a été faite récemment du verre platiné pour la construction de rhéostats pour courants électriques de faible intensité.

Dorure du verre. — On a essayé également de recouvrir d'une couche d'or, brillant ou mat, les glaces, pour en faire principalement des bordures-cadres Le procédé employé, dû à M. Schwarzenbach, de Berne, consiste à dissoudre du chlorure d'or pur dans l'eau distillée bouillante. Cette liqueur est rendue normale, de sorte que 1 litre contienne $0^{gr},300$ d'or métallique; on la rend alcaline par l'addition du carbonate de soude, liqueur A.

On prépare une liqueur B, dissolution saturée d'hydrogène protocarboné dans l'alcool; on étend cette liqueur de son volume d'eau; puis une liqueur C formée de 25 centimètres cubes de liqueur B, et de 200 centimètres cubes de liqueur A. Cette liqueur C est versée entre la glace à dorer et une feuille de verre placée à 3 milimètres au-dessous de la première. Après deux ou trois heures de contact, la dorure est obtenue. Reste à laver et à sécher la glace.

MOYENS PROPRES A RECONNAITRE L'ÉPAISSEUR DES GLACES

La beauté et la valeur des glaces exemptes de défauts dépendent de leur grandeur, de leur blancheur, de leur épaisseur et de leur transparence. On juge de leur blancheur en approchant de leur surface un corps très blanc, comme du papier, et examinant la nuance qu'a dans la glace ce corps réfléchi. Quant à l'épaisseur, lorsque les glaces sont encadrées, il est fort difficile de l'apprécier bien exactement.

La solidité des grandes glaces, et la résistance qu'elles doivent opposer aux légères flexions qui déforment les images, assignent une limite inférieure à l'épaisseur de ce produit; de sorte qu'une grande glace a, dans certains cas, d'autant plus de prix qu'elle est plus épaisse. Quand les glaces sont nues, rien n'est aussi simple que de mesurer leurs dimensions; mais lorsqu'elles sont montées, leur épaisseur ne peut plus être soumise aux instruments ordinaires et est difficilement estimée.

C'est dans l'espoir d'obvier à cet inconvénient que Benoist a imaginé le pachomètre. Le pachomètre donne le moyen de s'assurer avec promptitude si une

glace est d'égale épaisseur; vérification qui serait peu commode à faire sur une glace nue, et impraticable par les moyens ordinaires, sur une glace montée.

Description du pachomètre de Benoist. — Le pachomètre ordinaire à angle fixe se compose comme celui à angle mobile, d'un secteur en cuivre *s a b* garni d'acier à son sommet *s*, d'une amplitude de 27° 82′89″44; et d'un rayon *sa* égal à 14 ou 15 cent. plus ou moins. Ce secteur est fixé contre une des faces atérales d'une espèce de pyramide de bois *ed*, aplatie. Dans la base de cette

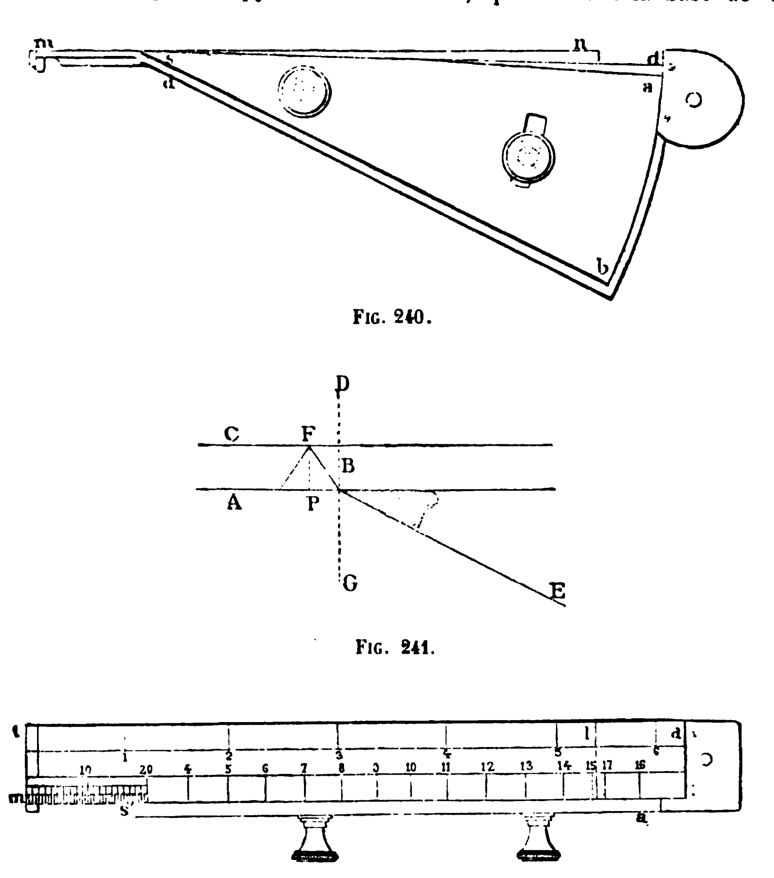


Fig. 240.

Fig. 241.

Fig. 242.

pyramide est creusée une rainure *r* destinée à recevoir le dos à ressort d'une languette de cuivre, dont la large face *l t m n* affleure un des côtés *sa* du secteur, et dont le bout est garni d'une traverse *t m* d'acier, ayant une saillie latérale vers *m*, égale à l'épaisseur de la plaque de cuivre dont le secteur est formé. Cette traverse termine la languette par une arête vive, perpendiculaire à sa longueur. La languette, dans toutes les positions qu'il est possible de lui donner, ne cesse pas de rencontrer d'équerre les faces du secteur, et celui de ces bords *m n*, qui en est touché, est divisé en petites portions égales entre elles,

et aux trois quarts d'un millimètre. Cette division existe sur une longueur de 3 centimètres, à partir de l'arête extrême de la traverse *tm*, où est l'origine de la graduation qui s'étend jusqu'à 20, parce que les petites divisions mentionnées sont réunies deux à deux, pour former des unités égales en longueur à $1^{mm},5$ dans les mesures fournies par l'instrument.

Si par des raisons particulières on ne faisait diviser la languette qu'en millimètres et fractions de millimètres comme est celle du pachomètre à angle mobile, l'épaisseur de la glace, en millimètres, ne vaudrait que les deux tiers d'un nombre de millimètres fourni par l'instrument, dans le cas où le côté supérieur du secteur ferait un angle de 27°82'89''44 avec la face divisée de la languette. Le rapport entre l'épaisseur de la glace et la saillie de la languette, pour tout autre angle d'ouverture donné au pachomètre, se calcule par une formule dans laquelle *i* est le complément de l'angle d'ouverture de l'instrument.

Le pachomètre à angle mobile diffère, comme on le voit, du pachomètre à angle fixe, en ce que le secteur est sillonné par deux ouvertures *pp*, *qq*, en arc de cercle, ayant pour cercle commun le sommet du secteur. Deux vis de pression *v*, *v'*, passant au travers de ces ouvertures, servent à fixer ce secteur contre la face latérale du corps pyramidal de l'instrument, qui est muni en outre d'un talon de cuivre O *a*, sur lequel on peut repérer les diverses positions qu'il est ainsi possible de donner au secteur, relativement à la languette, laquelle n'est d'ailleurs divisée qu'en demi-millimètres, ainsi qu'il a été dit. Il est bon aussi de donner au secteur de cuivre une amplitude moindre que celle qui convient au pachomètre ordinaire.

Quand on veut se servir des deux sortes de pachomètre, on applique la large face *ttmn* de la languette contre la glace à examiner, de sorte que la surface de celle-ci est rencontrée d'équerre par le secteur *abs*; et comme alors, le bord *as* de ce secteur s'appuie sur la glace, tout rayon visuel conduit le long de son autre bord *b s*, entrera dans le verre sous une incidence de 100 degrés — angle *b s a*, ou de 100 grades — 27°82'89''44, c'est-à-dire de 72°17'10''56, pour le pachomètre à angle fixe. D'où il suit qu'après avoir été réfléchi par la face étamée, ce rayon sortira en un point de la glace distant de celui par lequel il y était entré, d'une quantité égale à une fois et demie l'épaisseur du verre.

Si donc la languette ayant été primitivement ouverte, comme le montre la figure, on fait glisser le secteur le long de la languette, pour ramener la saillie *sm* de cette dernière à une valeur telle que l'image de l'arête extrême *mt* de la traverse d'acier soit vue dans la direction du rayon visuel mentionné *bs*, le nombre porté par la division qui se trouvera à côté du sommet *s* du secteur, sera, en millimètres, la valeur de l'épaisseur de la glace examinée.

Pour rendre le pachomètre propre à mesurer surabondamment la largeur et la hauteur des glaces, il faut continuer la division des bords *mn* de la languette voisine du secteur, en centimètres, et faire suivre cette division et la graduation sur la base de la pyramide de bois, à côté de la rainure *p* jusqu'à 25 centimètres. Le bord opposé *tl* de la languette et celui de la rainure qui lui correspond, peuvent être divisés en pouces au nombre de 10, de sorte qu'on lit la valeur des longueurs mesurées, en mètres ou en pouces.

Lorsque le pachomètre est à angle mobile, on peut le régler par expérience, pour une qualité de glace quelconque donnée.

Je suppose, par exemple, que l'on se propose d'avoir des saillies de languette égales à l'épaisseur des glaces de même nature : on prendra une de ces glaces pour la mettre à nu et on fera saillir la languette du pachomètre d'une quantité égale à l'épaisseur de cette glace, sur la face antérieure de laquelle on appliquera ensuite l'instrument, comme si l'on se proposait d'en mesurer l'épaisseur. Cela étant, au lieu de faire glisser le secteur le long de la languette, on fera varier l'angle que forme avec la glace celui de ses côtés qui sert d'alidade, jusqu'à ce que l'image de l'arête extrême de la languette soit vue dans la direction de ce côté; et alors l'instrument sera réglé. On serrera les vis dont on avait diminué la pression et on fera une coche sur la face de la pyramide contre laquelle s'appuie le secteur, ou le talon de cuivre dont elle est munie pour cet objet. Les données de la rectification actuelle seront ainsi conservées, et on pourra remettre les parties de l'instrument dans les positions qu'elles viennent de prendre, si on les avait dérangées pour chercher leurs positions relatives à des glaces d'autre nature.

Le pachomètre pourrait, comme on voit, être employé au mesurage du pouvoir réfringent des glaces, etc.

On pourrait donner plus d'exactitude au pachomètre, en garnissant le secteur d'une lunette pour conduire le rayon visuel.

La détermination de l'épaisseur des différents points d'une glace de grandes dimensions est un moyen détourné de se rendre compte du parallélisme des faces; mais on reconnaîtra qu'il ne résout pas la question de la planimétrie.

Nous croyons utile d'indiquer ici par quels procédés on arrive à effectuer cette double détermination dans la fabrication des glaces destinées à l'optique.

S'il est vrai que l'exécution des instruments d'optique parfaits exige une précision exceptionnelle, où les inégalités doivent souvent être inférieures à un millième de millimètre, ou un micron, les phénomènes lumineux qui doivent déceler ces imperfections présentent aussi heureusement des modes d'épreuve supérieurs à tous les procédés mécaniques.

Les anneaux colorés qui ont fourni à M. Fizeau une méthode admirable pour l'étude de la dilatation des corps solides permettent de constater par un simple coup d'œil si deux surfaces sont parallèles et d'estimer les variations à moins de $\frac{1}{40}$ de micron.

L'observation des images fournies par réflexion permet de vérifier le parallélisme de deux faces ou l'exactitude des angles dièdres qu'on a voulu leur donner.

M. Laurent, l'habile opticien bien connu, a coordonné toutes les méthodes de Foucault, y a ajouté beaucoup de procédés particuliers et les a rendus applicables par la création d'appareils d'un emploi facile (1).

(1) Nous avons déjà eu occasion de traiter ce sujet tout à fait spécial dans l'ouvrage *Verre et Verrerie* (L. Appert et J. Henrivaux), de l'*Encyclopédie industrielle*, fondée par M. C. Léchalas.
On pourra également consulter, dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement*, un rapport publié par M. Mascart.

Appareil pour contrôler et exécuter les surfaces planes (fig. 243, 244 et 245). — La figure 243 donne une vue perspective de l'appareil, la figure 244 en

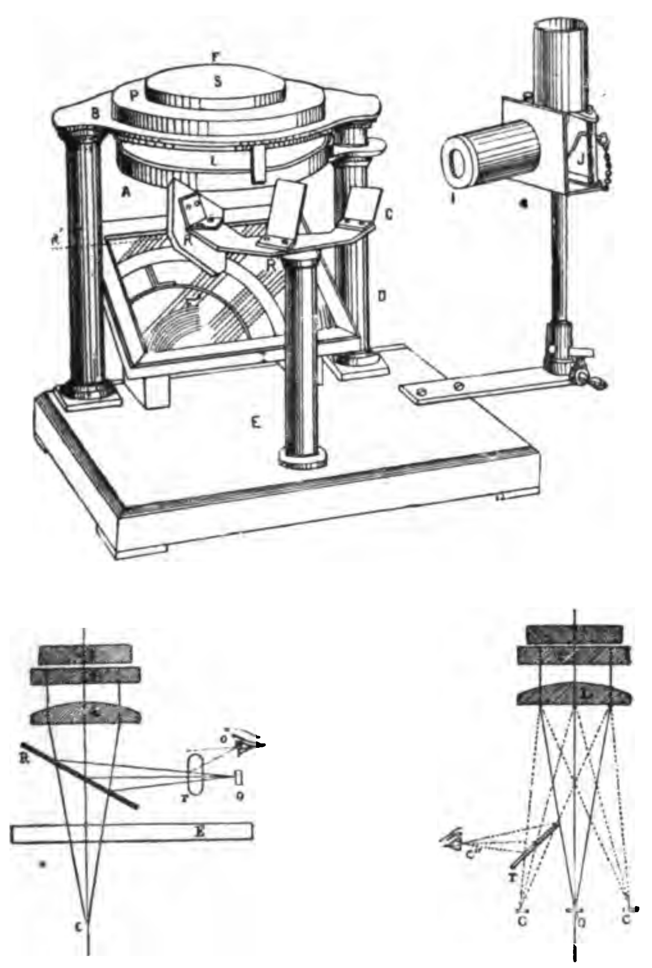


Fig. 243, 244 et 245.

P, plan-type reposant sur le bâti B par l'intermédiaire de trois poi nts. — La surface plane est en dessus, elle est d'une planimétrie parfaite.
S, surface à examiner, elle est posée sur P.
B, bâti fixé au socle E au moyen de deux colonnes fixes.
E, planche formant socle et portant diverses pièces.
D, douille mobile sur une des colonnes comme axe, ellle porte un support annulaire A.
A, support dans lequel est posée la lentille L; on peut le tourner de côté, afin de sortir la lentille pour l'essuyer.
I, lentille éclairante, plan convexe, son foyer principal de 350 millimètres correspond au point O.
R, réflecteur ordinaire. Il a pour but, l'œil étant un peu au-dessus de O, de voir en f' les franges d'interférences produites en f, entre le plan-type et la surface à examiner.
r, petit réflecteur, permettant à une deuxième personne de voir les franges en même temps.
O, écran de papier blanc, éclairé en jaune par la lumière du brûleur J; elle sert de surface éclairante pour produire les franges que l'on voit en regardant au-dessus de O.
C, deuxième surface éclairante pour les franges que l'on voit en regardant sur le côté en r' et

représente une coupe verticale et la figure 245 une vue de face dans laquelle la partie horizontale du faisceau est rabattue verticalement.

En O (fig. 244) se trouve un écran de papier blanc éclairé par le brûleur monochromatique; il envoie un cône de rayons qui se réfléchissent verticalement sur le miroir R, couvrent la surface de la lentille L dont le foyer principal est en O', et traversent le plan-type P; une partie se réfléchit sur la face-type (indiquée en traits forts), l'autre partie se réfléchit également sur la face de la pièce S (indiquée en traits forts).

Ces deux systèmes de rayons interfèrent, produisent des franges colorées et reviennent en O'', près du point de départ, où l'œil les reçoit.

On voit (fig. 245) un second écran C placé en dehors de l'axe; les rayons qu'il émet tendent à revenir en C'', mais un petit miroir *r* les renvoie sur le côté, en C', où l'œil du deuxième observateur les reçoit, le premier étant en O'.

Vérification d'une surface. — Soit une surface plane isolée appartenant à une pièce optique quelconque. On la pose sur le plan-type P. On allume le brûleur dont on dirige la flamme sur les écrans et l'on regarde en O'' (fig. 244). Si les surfaces sont bien essuyées, on voit des franges ou des anneaux noir gris sur un fond jaune clair. En appuyant légèrement sur S, on obtient à volonté des franges ou des anneaux. Ces deux apparences donnent, en se complétant, la forme exacte de la surface, à peu près comme les courbes de niveau indiquent le terrain sur une carte topographique.

Anneaux. — S'ils sont grands, la surface est de révolution; en appuyant légèrement au centre, les anneaux changent de forme : ils s'agrandissent ou

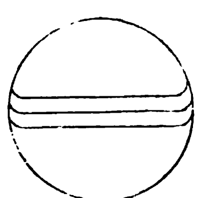


Fig. 246.
Franges produites par une surface plane.

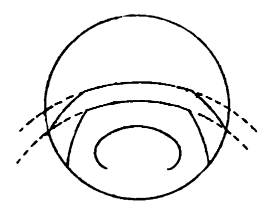


Fig. 247.
Franges produites par une surface convexe.

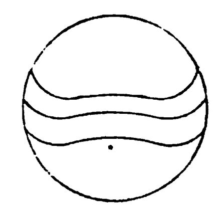


Fig. 248.
Franges produites par une surface concave.

rapetissent; dans le premier cas la surface est convexe, dans le second elle est concave.

Si les anneaux sont ovales, la surface est à double courbure. En mesurant

perpendiculairement en regardant la direction du premier observateur. Cela est très utile dans le cas où deux personnes ont besoin de voir en même temps : un professeur et un élève, ou le patron et l'ouvrier.

f, franges d'interférences de M. Fizeau, produites entre la surface supérieure du plan-type te celle inférieure de la surface à examiner.

t, les mêmes, vues par réflexion, quand on regarde au-dessus de O. — J, brûleur monochromatique Laurent. — L. lentille servant à concentrer la lumière de J sur C et O. Cet appareil est à la fois un instrument de cabinet et un outil. — Marche de la lumière. — Elle est représentée par les schémas (*fig.* 244 *et* 245).

le diamètre des anneaux, on pourra en déduire le rayon de courbure de la surface.

Franges. — Les franges droites et un peu espacées (fig. 246) indiquent un plan; les extrémités un peu recourbées dénotent des bords arrondis; ils le sont toujours. La figure 247 montre une surface convexe, la figure 248 indique une surface concave, mais dont les bords sont aussi rabattus.

Nous ne pouvons entrer ici dans tous les détails de fabrication; nous dirons seulement qu'en général on obtient l'apparence (fig. 246) plus ou moins exagérée, et qu'en voulant bien faire on peut tomber dans l'apparence (fig. 248).

Quand on veut faire des comparaisons exactes, il faut laisser la pièce et le plan-type un certain temps l'un sur l'autre, pour qu'ils soient bien à la même température, sans cela on peut avoir des différences de trois ou quatre anneaux. Quand on travaille une surface isolément, on sait qu'elle est toujours arrondie sur les bords et plus ou moins pour des causes diverses; elle est même plus arrondie qu'on ne le pense couramment.

Cette méthode est très pratique, car elle donne d'un coup d'œil la valeur de la surface; il suffit de la poser sur le plan-type; les franges indiquent si les bords sont rabattus, si le centre est creux, etc., ce qui importe enfin pour la conduite du travail.

Pour obtenir de meilleures surfaces, on les agrandit au moyen de cales que l'on fixe de différentes manières. Tout l'arrondi se porte alors sur les cales, et l'on obtient une très bonne surface centrale; mais malheureusement quand on décolle la pièce, elle change de forme, le verre étant beaucoup plus élastique qu'on ne le croit ordinairement.

M. Laurent a obtenu cependant de très bons résultats en fixant au plâtre des plans ou des lentilles dans des anneaux en verre complets, l'espace occupé sur le plâtre ayant un millimètre de largeur. Avec ce procédé, les franges sont droites jusqu'aux bords.

Appareil pour étudier le parallélisme des deux faces d'une glace. — Ces appareils (fig. 249) se composent de deux parties distinctes : un bâti servant de support aux pièces à examiner, et une ou deux lunettes auto-colimatrices de même forme.

Comme il est indispensable, pour la compréhension de ce qui va suivre, de connaître les détails de construction de la lunette auto-colimatrice, nous la représentons (fig. 249) et en donnons la description.

Marche de la lumière. — La lumière émanée d'un bec de gaz est concentrée en E; elle est réfléchie par le prisme p de haut en bas, traverse le trou t qui devient l'objet éclairant, puis traverse l'objectif A dont le foyer principal est en D; les rayons sortent en faisceau cylindrique, se réfléchissent perpendiculairement sur le plan P, traversent l'objectif de nouveau et viennent donner sur le diaphragme D une image du petit trou t. En inclinant soit le plan p, soit la lunette L, on amène le cercle éclairé à être tangent aux deux fils fg, ce qui détermine bien la position de la lunette : c'est le zéro. Si l'on dérange

soit la lunette, soit le plan d'un petit angle, l'image ne sera plus tangente aux deux fils, la distance à chacun d'eux donnera la position dans deux plans perpendiculaires; il sera facile de trouver la position de la résultante, c'est-à-dire l'endroit où l'ouvrier doit appuyer.

Si l'on veut faire des mesures, on agira sur le bouton *c* (fig. 249) et on lira

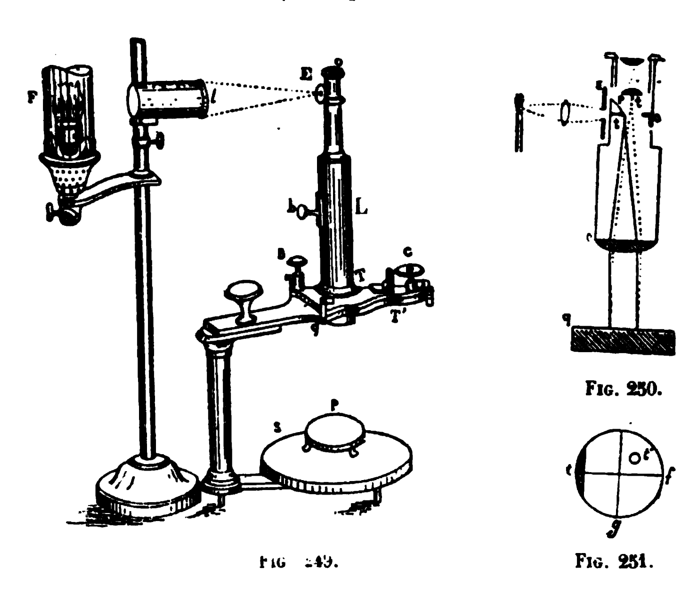


Fig. 249. Fig. 250. Fig. 251.

L, corps de lunette, vissée sur le trépied mobile T.
A, objectif achromatique ordinaire (invisible sur le dessin) de 240 millimètres de diamètre.
O, système oculaire représenté en détail (*fig.* 250).
E, écran sur lequel on projette la flamme du bec de gaz F.
l, lentille éclairante, sert à projeter en E la flamme F.
T, trépied mobile portant la lunette *l*, *t*.
T', trépied fixe supportant le trépied T, au moyen des trois pointes *q*, B, C.
q, pointe fixe.
B, bouton servant à régler un des fils tangents à l'image pour amener celle-ci dans le milieu du champ.
C. tambour divisé servant à amener l'autre fil également tangent à l'image; c'est le fil de mesure, il donne l'inclinaison de la lunette *l*.
Les trois pointes sont retenues par trois ressorts antagonistes qui évitent le jeu.
S, socle sur lequel on pose les pièces optiques; il porte une colonne sur laquelle est fixé T', au moyen d'un bouton.
P, surface plane réfléchissante.
b, petit bouton de serrage; il a pour but de fixer le courant de la lunette *l*, quand on a réglé la position des fils.
o, système oculaire positif, grossissant vingt fois.
D, diaphragme portant deux fils d'araignée, perpendiculaires; il est au foyer principal de l'objectif.
p, prisme éclaireur à réflexion totale, posé sur le trou *t*.
t, petit trou de 3/10 de millimètre de diamètre, percé dans le diaphragme D sur le côté et éclairé par *p*.
t', image réfléchie du trou, invisible directement dans l'oculaire.
f, *g*, fils d'araignée en croix.

les divisions du cadran. Ce sont des nombres arbitraires, mais on peut déterminer pour chaque appareil la valeur de ces divisions en secondes.

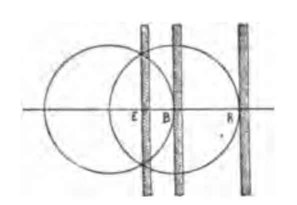
Pour cela on se procure un angle de 1 degré environ, soit au moyen de

l'équerre à angle variable, soit autrement; on mesure cet angle en minutes et en secondes au moyen du cercle divisé, puis on voit à combien de divisions du cadran C il correspond, et l'on en déduit la valeur d'une division en secondes.

Cette valeur est très utile à connaître. On obtient le plus grand degré de précision possible en rendant le bord de l'image tangent au fil qui sert à mesurer. On agit pour cela sur le tambour divisé C, on fait plusieurs lectures et on prend la moyenne; on peut ainsi dire à quel degré de précision on donne la valeur d'un angle.

Pour avoir la valeur angulaire du diamètre, on cherchera une glace donnant deux images qui se coupent (fig. 250); on notera la valeur des écartements AB et AE et on aura D = 2AE — AB.

Réglage des fils. — L'un des fils doit être parallèle aux deux pointes qB (fig. 249), et l'autre perpendiculaire. Si cette condition est remplie, la mesure



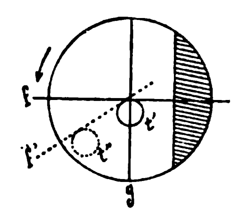


Fig. 252 et 253.

est rendue plus commode; il suffit, en effet, que l'image soit dans le champ; on n'a alors à s'occuper que de sa position par rapport à un seul fil, celui de mesure, et qui est parallèle à qB.

Soit (fig. 253) l'image t' qui doit suivre le fil f, par exemple, en tournant soit

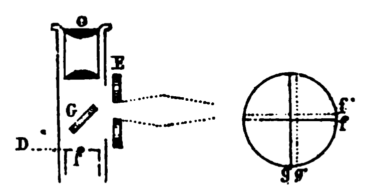


Fig. 254 et 255.

O, système oculaire positif ordinaire d'un grossissement de 14.
G, glace éclairante à 45°.
D, diaphragme portant deux fils, f et g.
f, g, fils d'araignée perpendiculaires entre eux.
f', g', images des deux fils f et g.

le bouton divisé, soit la pièce optique; si cette image ne suit pas le fil et vient en t'', par exemple, il suffira de tourner tout entier le coulant de la lunette (fig. 249) après avoir desserré le bouton b, de manière à rendre f tangent à t''.

Pour l'exécution des surfaces parallèles de précision, on se sert d'une lunette dans laquelle qC (fig. 249) est perpendiculaire à qB, les deux boutons C et B sont divisés; cela permet de mesurer dans deux plans perpendiculaires sans déplacer la pièce; on obtient plus exactement la résultante, et, quand on reud l'image tangente à l'un des fils, on ne dérange pas l'autre.

Dans quelques cas, on se sert d'un oculaire (fig. 254). La lumière projetée en E se réfléchit sur la glace G de haut en bas; on a l'image de fils sombres sur fond éclairé, tandis que dans le premier oculaire on a l'image d'un trou éclairé sur fond sombre. Dans le deuxième cas, la lunette est réellement perpendiculaire au plan; dans le premier cas, elle ne l'est pas, ce qui n'a d'ailleurs aucune influence sur la précision. Pour simplifier, nous continuerons à dire que la lunette est perpendiculaire au plan réfléchissant.

En résumé, la lunette peut être considérée comme une normale à la surface à examiner; un plan peut être déterminé, comme direction, par sa normale : c'est l'inclinaison très amplifiée de cette dernière que l'on mesure. C'est ainsi que nous considérons les lunettes dans les appareils suivants.

Appareil pour le contrôle et l'exécution des surfaces parallèles. — Cet appareil est représenté en perspective (fig. 249).

Exécution de deux surfaces parallèles. — Soit à exécuter une deuxième surface, parallèle à une autre surface polie. M. Laurent emploie l'appareil réprésenté (fig. 256).

Cette surface étant préparée le mieux possible par les procédés ordinaires, on la pose sur trois pointes calées sur le socle et l'on rend la lunette perpendiculaire à la face polie. La figure 256 est un schéma théorique.

Nous supposons que la surface non polie Q n'est pas parallèle à la face

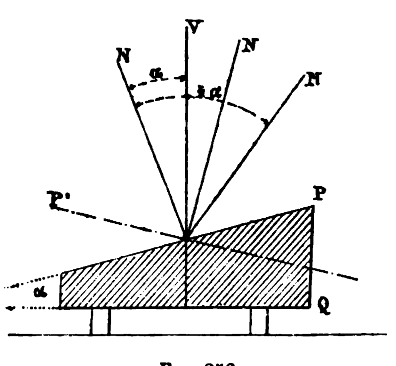


Fig. 256.

polie P; elles font entre elles un angle x, c'est « l'erreur ». La lunette est réglée suivant ON, perpendiculaire à P; elle fait donc avec la verticale OV un angle égal à x; on fait faire un demi-tour à la pièce, de manière que P vienne en P', la normale à P' sera ON', faisant avec ON un angle $2x$; N n'a pas bougé et son image viendra en N'', faisant alors avec ON un angle NON'' égal à $4x$; l'erreur est donc quadruplée, ce qui rend le procédé très sensible. L'ouvrier

voit où est le côté le plus épais, c'est-à-dire où il doit appuyer : c'est du côté où l'image est déviée.

Remarque. — Si on estime l'erreur apparente en fonction de l'image, elle est bien $4x$; mais si on la mesure, en rendant le fil tangent à l'image au moyen du cadran C(fig. 249), l'angle donné par les diversions sera seulement égal à $2x$.

On peut, par le même procédé, tailler des tubes de verre à faces parallèles et les contrôler.

VÉRIFICATION RAPIDE DES GLACES PARALLÈLES.

Glaces non argentées. — Si les deux faces PQ sont bien parallèles(fig. 257), les images du petit trou données par chaque face coïncideront, et l'on ne verra qu'une image I. Si, au contraire, elles font un angle x (fig. 258), la face P donnera une image I, mais la face Q donnera son image en N'', faisant avec elle angle égal à $3x$, exactement $2nx$, n étant l'indice. Ici l'erreur est toujours égale à $3x$, soit qu'on l'estime à l'oculaire en fonction de l'image, soit qu'on la mesure au moyen du cadran C. On a ainsi un procédé très pratique pour contrôler une glace parallèle; l'aspect des images indique d'un coup d'œil la qualité de la glace.

Si l'on n'a qu'une image et qu'elle soit nette, les deux faces sont parallèles et planes. S'il y a deux images, elles ne sont pas parallèles; en amenant successivement les bords de chaque image I. I' sous le même fil f, l'angle lu

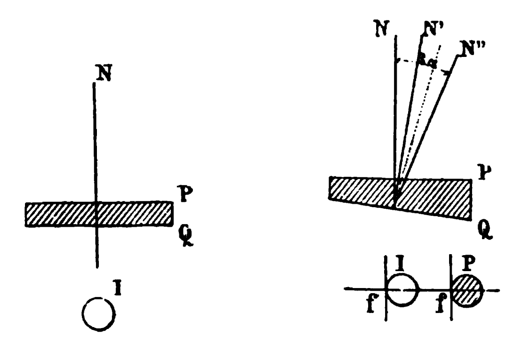


Fig. 257 et 258

est triple de l'angle des faces. L'image fournie par Q est généralement moins éclairée (on peut l'affaiblir en passant un peu d'eau dessus avec le doigt); c'est de son côté qu'est le bord le plus épais. Si les deux images ne sont pas nettes, les faces sont courbes. Quand les bords sont arrondis, on le voit très bien, car les images changent d'écartement en ces endroits et deviennent aussi moins nettes.

Dans les glaces du commerce, les deux images sont le plus souvent très écartées et varient beaucoup avec l'endroit examiné.

Glace argentée. — Une glace parallèle argentée ne donnera qu'une image très vive; une glace non parallèle (fig. 259) en donnera quatre, la première en commençant par le bord mince à gauche et perpendiculaire à la face aura l'éclairement ordinaire, comme dans le cas précédent; la deuxième très vive, la troisième un peu plus pâle que la première, et la quatrième peu visible. La distance angulaire entre les deux premières images est triple de l'angle

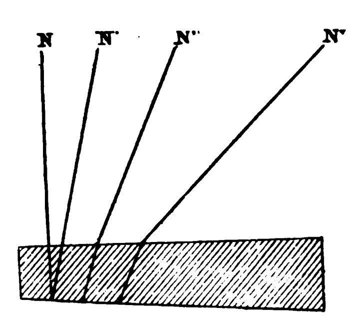


Fig. 259.

des deux glaces; la quatrième image n'est pas toujours bien visible, surtout quand les faces ne sont pas planes : dans ce cas, en changeant le tirage de la lunette on la distingue mieux. Au moyen du bouton C (fig. 259), on peut mesurer des lames prismatiques à angle faible pendant l'exécution ou après, etc. En résumé, on voit si les faces sont bonnes, si elles sont parallèles, si les bords sont arrondis.

Procédé pratique pour exécuter des glaces minces parallèles. — M. Laurent emploie un plateau en verre de 25 millimètres d'épaisseur et de 13 centimètres de diamètre (fig. 260). La face P est polie et porte une molette en

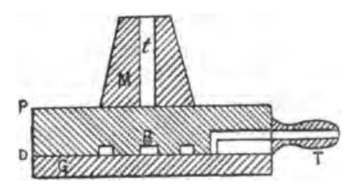


Fig. 260.

liège M percée d'un trou *t* de 10 millimètres pour le passage de la lumière. L'autre face D, dépolie, est plane et parallèle à P. Elle est sillonnée de rigoles R communiquant entre elles et avec le trou T. La glace à faire G est préparée à l'émeri le mieux possible; le plateau étant retourné, on applique bien la glace sur D, on ajoute un poids, on colle les bords soit à l'arcanson, soit au papier; ce léger collage ne suffit pas du tout à retenir la glace, il sert seulement à empêcher l'air d'entrer dans les rainures R. On fait le vide en T en aspirant avec la bouche par l'intermédiaire d'un tube en caoutchouc qui s'adapte en T au moyen d'une tige percée; quand le vide est fait, et tout en

aspirant, on appuie vivement la tige, qui écrase la cire à mouler placée au fond de T; la cire, en s'aplatissant, bouche le trou; on retire alors la tige; c'est un moyen simple et rapide de faire le vide. La glace ne fait plus qu'un avec le plateau et on travaille le tout comme s'il s'agissait d'un seul bloc épais. Une fois polie, on retourne la glace pour faire la deuxième face. Ce procédé donne d'assez bons résultats. On peut ensuite découper la glace en petits morceaux.

Prix comparés des glaces depuis soixante ans. — Il est difficile de comparer les prix d'un même produit à des époques différentes. A un siècle de distance la valeur de l'argent n'est plus la même et les éléments divers dont se compose le prix d'un objet ne peuvent être comparés de la même manière. Pour comparer la qualité des matières premières, l'analyse chimique qui nous guide aujourd'hui, était, sinon inconnue, du moins peu pratiquée jadis ; la durée des heures de travail, le degré de température des fours, sont autant de détails que l'on ne peut guère mettre en parallèle.

Depuis un siècle, pour la fabrication des glaces, la main-d'œuvre est d'un prix plus élevé, les terrains, les constructions ont plus de valeur et les appareils sont plus multipliés, de même pour les matières refractaires et combustibles, les matières vitrifiables ont diminué de valeur, les transports ont subi une diminution de prix.

La concurrence est venue abaisser les prix d'une façon telle que peu d'industries en ont opéré de semblable, principalement depuis cinquante ans.

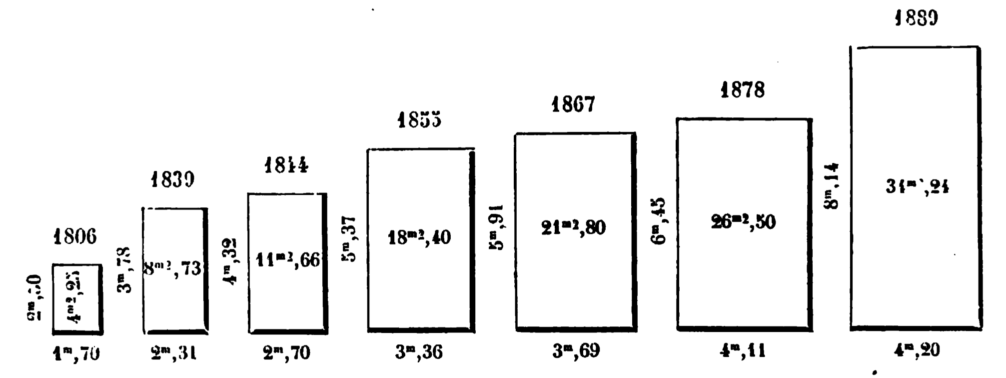
TABLEAU DES PRIX DU MÈTRE DE GLACE

DE 1702 à 1889.

DIMENSIONS.			1702	1758	1791	1798	* 1802	** 1805	1835	1856	1862	1884	*** 1889
POUCES.		CENTIMÈTRES.											
			fr.	fr. c.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr. c.	fr. c	fr. c.
(1m)	37/37	100/100	165	161 50	174	193	205	226	127	61	47 75	40 30	30 23
(2m)	74/37	200/100	540	529 »	329	810	859	915	377	143	107 »	93 80	70 35
(3m)	74/56	200/151	1000	1000 »	1399	1554	1648	1813	757	248	186 »	160 »	102 »
(4m)	110/50	297/135	2750	2750 »	2785	3437	3644	4008	1245	349	262 »	227 »	136 »

Le franc de 1702 valait plus que le franc de 1802.
* En 1802, après la Révolution.
** En 1805, pendant le blocus continental, les prix étaient plus élevés qu'un siècle auparavant.
*** Actuellement, les prix sont inférieurs de 25 pour 100 à ceux de 1889.

Nous avons pensé que le lecteur pourrait trouver intéressant de mettre en comparaison la diminution des prix de vente avec les efforts qu'ont dû faire les fabricants pour répondre aux exigences du commerce qui demande des glaces dont la superficie va croissant sans cesse.



L'abaissement extraordinaire des prix a correspondu naturellement au développement considérable dans la consommation.

Colbert écrivant, le 2 juin 1673, au comte d'Avaux, qui lui transmettait de Venise les offres d'un Italien qui proposait de fabriquer de grandes glaces : » Cela pourrait faire du tort aux intéressés et, d'ailleurs il n'y aurait absolument aucun débit des grandes glaces dans le royaume ; il n'y a que le roi qui puisse en avoir besoin. »

Deux cents ans après, le ménage le plus modeste se fait à lui-même le cadeau d'un miroir que le roi Henri IV adressait au roi d'Angleterre ; une médiocre maison d'épicerie, dans nos grandes villes, se donne pour sa devanture le luxe réservé aux maisons royales et sans dépenser autant que Louis XIV à Versailles, en 1679, pour la galerie des glaces, les propriétaires du Grand Hôtel, construit en 1863, y ont employé 5000 mètres de grandes glaces.

Il ne faut pas croire, d'ailleurs, que la France ait pris une part exclusive à ce développement ; sa consommation a doublé à peu près depuis vingt ans, mais celles de l'Angleterre, des États-Unis, du Zollverein, de l'Italie, sans atteindre les mêmes chiffres, ont relativement augmenté d'une manière plus rapide encore. Pendant que la production totale, en vingt ans, devenait trois fois plus grande, le prix devenait trois fois plus petit ; l'échelle ascendante des ventes et l'échelle descendante des prix se suivent très exactement.

Sans doute, si l'on comparait les prix de vente aux prix de revient, on reconnaîtrait qu'il existe une autre échelle descendante, qui est celle des bénéfices. La consommation a des bornes, l'amélioration des procédés a des bornes. Si la concurence n'en avait pas, le jour arriverait très vite où cette belle fabrication produirait sans gagner, sinon à perte.

Les fabricants de 1896 doivent perdre l'espoir de voir revivre les bénéfices d'autrefois. L'industrie des glaces n'est plus une industrie de luxe ; le jour où les prix hausseraient sensiblement, la concurrence prendrait un nouvel essor et la production exagérée forcerait les fabricants à baisser de nouveau les prix qu'une sage prévoyance et un désir de gain modéré et légitime, ne devraient jamais laisser élever.

Il en est pour cette industrie, comme pour toutes les autres : la question de l'avenir est remise à la sagesse des producteurs.

Malheureusement, malgré l'abaissement des prix de vente, conséquence

naturelle de cet accroissement de production, la fièvre des glaceries ne semble pas éteinte, et la création de nouvelles manufactures n'est pas invraisemblable.

On se demande cependant si de pareils projets ont quelque chance d'aboutir étant donnée la situation réelle de cette industrie naguère si florissante.

La vérité, c'est que les usines les mieux outillées vendent leurs glaces à perte, sur la plupart des marchés, malgré les efforts qu'elles font pour abaisser le prix de revient aux dernières limites.

La diminution du prix de revient que permet de réaliser une fabrication intensive est absolument insignifiante, en comparaison des sacrifices consentis sur le prix de vente, pour assurer l'écoulement d'une production manifestement exagérée.

On l'a très bien vu en avril 1893, où les stocks ont pu être réduits, mis au prix de quelles concessions et avec quels résultats pécuniaires!

Il y a six ans, on fabriquait en Europe 2.400.000 mètres carrés de glaces polies annuellement dans vingt-trois usines.

Les moyens de fabrication actuels atteignent 3.600.000 mètres par an, grâce à la création simultanée de cinq glaceries nouvelles, et au développement des anciennes, sauf peut-être en Angleterre.

La Belgique seule entre pour 550.000 mètres dans toute cette augmentation.

Pendant la même période, la fabrication des glaces prenait aux États-Unis, un prodigieux essor, faisant passer la production de 500.000 mètres carrés, répartie entre six usines à 1.200.000 mètres, répartie entre treize usines, avec la possibilité de fabriquer beaucoup plus, si la consommation indigène l'exigeait.

Alors que le marché des États-Unis échappe de plus en plus aux glaceries européennes, la crise économique qui sévit dans l'Amérique du Sud, l'élévation des droits de douane en Russie, en Danemark, en Espagne, en Italie, en Autriche-Hongrie ont restreint la consommation, et rendu l'exportation des pays producteurs de moins en moins rémunératrice.

En nous plaçant à l'heure présente, il est permis de redire avec une certaine fierté que l'industrie des glaces a surmonté jusqu'ici toutes les vicissitudes politiques et économiques par la persévérance et la rapidité de ses progrès autant que par la prévoyance de son administration. Imprimant à ses produits, s'il n'est pas trop ambitieux de le dire, la marche suivie par toutes les institutions du pays, elle était une industrie de luxe, elle est devenue une industrie d'usage universel, elle est sortie du palais des rois pour entrer dans la maison de tout le monde.

Il existe en France sept glaceries dont les trois principales appartiennent à la Compagnie de Saint-Gobain, on en compte cinq en Belgique, six en Allemagne, dont trois appartenant à la Compagnie de Saint-Gobain; six en Angleterre, une en Russie, une en Italie (Compagnie de Saint-Gobain), quatre aux États-Unis. On voit donc que si l'usage des glaces a pris de l'extension, ce n'est pas la production qui fait défaut.

PRIX DE REVIENT POUR UNE USINE A DEUX FOURS.

DANS UN MÈTRE CARRÉ DE GLACE POLIE IL ENTRE :

ÉLÉMENTS DU PRIX DE REVIENT.	QUANTITÉS.	BELGIQUE.		ÉTATS-UNIS.	
		PRIX.	SOMMES.	PRIX.	SOMMES.
	kil.	fr. c.	fr.		fr.
Sable	42 64	12 00 °/₀₀	0,520	12 00	0,520
Sulfate de soude	15 67	7 50 °/₀	1,170	11 50	1,800
Calcaire broyé	16 48	3 00 °/₀	0,490	2 50	0,420
Drogues (manganèse, arsenic, calcaire)	»	»	0,230	»	0,380
Bois	»	»	0,025	»	0,013
Charbon de bois	»	»	0,100	»	0,030
Charbon, briquettes et coke	329 00	12 50 °/₀₀	4,112	6 25	2,056
Pots	»	»	0,500	»	0,560
Tuiles	»	»	0,130	»	0,160
Pigeonniers	»	»	0,020	»	0,030
Grès	0 079	70 00 °/₀	0,065	100 00	0,094
Émeri	2 141	80 00	1,710	120 00	2,575
Plâtre	48 206	8 00	3,861	15 00	7,240
Potée	0 500	25 00	0,125	35 00	0.175
Fournitures diverses	»	»	1,093	»	1,358
Éclairage	»	»	0,062	»	0,062
Entretien des fours	»	»	0,320	»	0,380
Entretien du matériel	»	»	1,329	»	1,580
Main-d'œuvre	»	»	6,385	»	12,770
Frais généraux	»	»	1,510	»	2,000
Intérêts du capital	»	»	2,130	»	2,750
TOTAUX	....	....	25,887	....	36,953

La production des glaces a été sans cesse en augmentant depuis 1878, aussi les prix de vente ont-ils subi, ainsi que nous venons de l'indiquer plus haut, un abaissement considérable.

Pour les glaces de grandes dimensions, la baisse a été encore bien plus rapide. Ainsi une glace de 10 mètres carrés de superficie qui était vendue, en 1873, 1.200 francs, ne coûtait plus que 467 francs en 1889.

Nous croyons intéressant de donner au lecteur quelques indications sur l'importance du commerce des glaces :

EXPORTATION DES GLACERIES BELGES PENDANT LES SIX PREMIERS MOIS DE :

	1889.	1888.	1887.
	fr.	fr.	fr.
Allemagne	89.432	58.633	183.833
Angleterre	1.929.423	861.653	912.898
Australie	72.600	119.000	88.050
Espagne	68.158	111.627	93.850
États-Unis d'Amérique	812.180	1.154.500	1.203.000
France	103.254	68.563	108.960
Hambourg	74.050	65.090	140.410
Pays-Bas	296.573	205.714	302.132
Russie	167.973	33.880	23.000
Autres pays	745.367	543 389	586.420
Total	4.359.102	3.252.050	3.580.958

Les usines françaises de la Compagnie de Saint-Gobain exportent annuellement au cours actuel pour 4.000.000 de francs.

Les usines que la même compagnie possède à l'étranger exportent pour 3.000.000 de francs, soit au total 7.000.000, non compris les verres vendus bruts.

L'exportation des fabriques de glaces allemandes, étrangères à la Compagnie est d'environ 1.500.000 francs de glaces polies, nues ou argentées.

Les glaces minces, dites *glaces allemandes*, ne sont pas comprises dans ce chiffre.

L'exportation directe ou indirecte des manufactures anglaises est plus difficile à connaître, nous ne l'évaluons pas à moins de 8.000.000 de francs.

Voici la composition du verre à glaces :

	Nº 1	2	3	4	5
Silice	72,1	77,1	69,3	75,0	70,27
Chaux	15,7	6,0	15,8	6,5	15,86
Soude	12,2	16,2	13,4	18,0	13,66
Alumine et oxyde de fer	traces	0,7	1,5	0,5	0,21
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,00

Nº 1. Verre de Saint-Gobain.
Nº 2. — — ancienne composition.
Nº 3. Verre de Montluçon 1868.
Nº 4. Verre de Ravenhead (St-Helens).
Nº 5. Verre allemand.

Le tableau ci-dessous rend compte des améliorations apportées depuis cent ans aux procédés de la fabrication, on voit ainsi le temps gagné dans les diverses phases d'une opération de coulée et de travail de glace.

	1765.	1862.	1889.
	Heures.	Heures.	Heures.
Mélange	3	3	3
Fonte et coulage	28	24	24
Séjour dans la carcaise	96	84	72
Équarrissage	6	6	6
Doucissage (des deux côtés)	36	28	»
Savonnage	5	5	22 (Savonnage et Polissage)
Polissage	72	24	
	246	174	127

Ainsi cette durée de plus de dix jours de travail a été ramenée à moins de sept jours. Actuellement en 1895, cette durée du travail est réduite à environ 126 heures.

En employant le sulfate de soude pour la fabrication du verre en général, on perd 22,5 pour 100 de soufre que contient le sulfate. La verrerie perd ainsi annuellement une somme de 6 millions de francs.

Au lieu de livrer le sulfate de soude aux verriers il serait préférable de leur livrer du silicate de soude par exemple.

Lorsqu'on calcine à une température assez élevée de la silice avec du sulfate de soude et du charbon de bois on obtient du silicate de soude, un dégagement d'acide sulfureux, d'oxyde de carbone, et du soufre libre :

$$2(SO^3NaO) + C^4 + SiO^3 = SiO^3 2NaO + 4CO + SO^2 + S.$$

D'après les conseils de M. Fremy nous avons produit de cette manière une quantité importante de silicate de soude en fondant un mélange de 70 parties de sable, de 71 sulfate de soude et 7 de charbon de bois. Soumis à la calcination, le mélange donnait 50 pour 100 du soufre (à l'état de soufre) contenu dans le sulfate, comme l'indique la formule ci-dessus, 50 pour 100 à l'état d'acide sulfureux, les matières étant séchées. Le but que nous poursuivions en opérant ainsi était la récolte du soufre, l'utilisation de l'acide sulfureux pour la fabrication des hyposulfites et l'utilisation du silicate de soude pour la fabrication du verre. En effet, en ajoutant à ce silicate de soude un peu de silice et la proportion voulue de carbonate de chaux (si l'on est placé à proximité d'une fabrique de soude, on peut utiliser, au lieu de carbonate de chaux, la chaux qui sert à la caustification de la soude, chaux qui malgré son lavage retient toujours un peu d'alcali), nous avons obtenu du verre à glaces semblable à celui de la fabrication ordinaire comme couleur et comme choix. L'habile directeur de la verrerie de Folembray, M. Damour, à la demande de M. Fremy, a bien voulu fabriquer, il y a peu d'années, vingt mille bouteilles par ce procédé et les produits obtenus n'étaient pas différents de ceux de la fabrication ordinaire.

Pour la fabrication des bouteilles, la température des arches dans lesquelles se fait le frittage des compositions n'était pas suffisante pour accomplir notre réaction et eût nécessité la création d'un four spécial, ou tout au moins la transformation des fours actuels. Nous n'en donnons pas moins la théorie et l'application de cette réaction, persuadé qu'elle sera employée si le sulfate de soude continue à être employé en verrerie et s'il n'est pas remplacé par le sel de soude, fabriqué directement par la conversion du sel marin en carbonate de soude, par l'ammoniaque et l'acide carbonique.

Encadrement des glaces. — Rien n'est plus propre qu'une glace à orner une chambre, à l'éclairer quand elle est sombre, à l'agrandir quand elle est petite, à l'égayer quand elle est triste. La glace substitue à la rigidité du mur qui arrête et emprisonne le regard, un vide apparent qui laisse passer la vue et la pensée. Mais bien des erreurs, bien des fautes de goût sont commises dans l'encadrement des glaces ! Tantôt ce sont des bordures écrasantes par leur volume, étincelantes par leur dorure; ou bien ce sont des cadres en verreries de couleur ou en fragments de verre blanc étamé. La glace a besoin d'un encadrement spécial, qui souvent l'assimile à une fenêtre, à une porte dont elle rempli l'office, il est donc naturel de l'entourer comme on entoure une porte ou une fenêtre. Souvent les glaces sont entourées d'étoffes semblables aux tentures de l'appartement, ou en velours de même couleur, mais de teinte un peu plus foncée, ce qui la distingue ainsi des tableaux, des gravures qui l'entourent.

Si le cadre doré est admis, il doit être en rapport avec le style décoratif de l'appartement, ne pas amoindrir la surface de la glace par une apparence trop en relief, trop accusée, en un mot l'accessoire ne doit point effacer le principal (fig. 261).

A l'Exposition des arts décoratifs de 1882, on a remarqué un nouveau mode

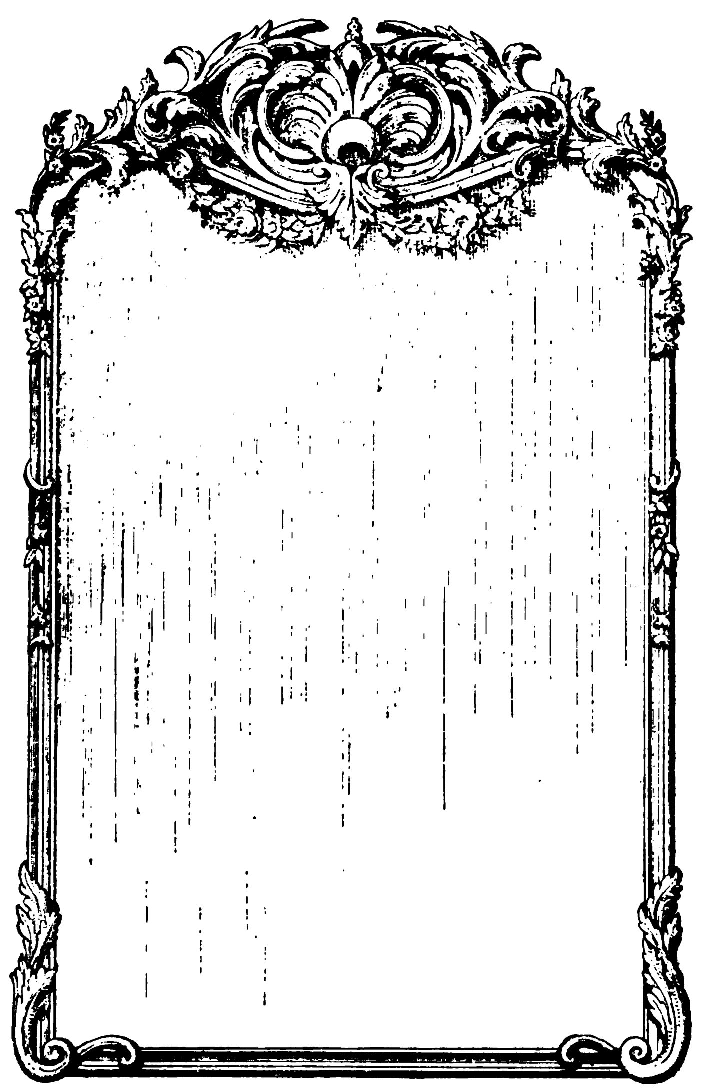


Fig. 261.

de décoration auquel l'inventeur, M. Juncker, a donné le nom de *Sylvain-Décor*. Ce procédé consiste à métalliser les plantes naturelles avant de les fixer sur le bois, la toile, le verre, en un mot, sur tout ce qui peut se prêter à une ornementation quelconque, tout en laissant aux plantes leur souplesse initiale.

Il permet ainsi de les appliquer au gré de l'artiste et de reproduire les effets de la nature en emprisonnant le type choisi et lui conservant toute l'intensité de la vie. La première apparition du Sylvain-Décor s'est manifestée au Salon de 1881, où il était appliqué au cadre du *Mendiant* de M. Bastien-Lepage et des tableaux de MM. Gervex et Blanchon destinés à orner la salle des mariages, à la mairie du dix-neuvième arrondissement de Paris.

Le principe du procédé réside dans l'emploi de la gutta-percha eu dissolution. On fait sécher les plantes dans le sable ou dans de la sciure de bois, et on remplace la sève disparue par le dissolvant qui pénètre dans la plante, et n'altére en rien leur souplesse. Le décorateur peut alors, à volonté, donner le mouvement et le modelé qui lui convient, en soutenant tous les reliefs par un mastic analogue à celui des ornemanistes. Le travail étant fixé sur la matière qui doit le recevoir, on le recouvre, au pinceau, d'une nouvelle couche de dissolvant dont l'adhérènce est telle que le métal, préparé en feuilles très minces, se trouve solidement fixé sur la plante, en épousant jusqu'aux moindres détails, au moyen d'un repoussé spécial donnant au Sylvain-Décor l'aspect d'une pièce d'orfèvrerie.

Ce moyen répondait suffisamment à l'ornementation des cadres et des panneaux, mais les objets en métal ne pouvaient supporter une décoration d'une matière inférieure à la leur; c'est-à-dire qu'un vase de bronze, par exemple, doit porter des ornements en bronze. M. Juncker demanda à la galvanoplastie le complément de son travail. On arrête la première opération quand le métal recouvre assez la plante ou l'étoffe pour qu'elle paraisse déjà métamorphosée en cuivre pur; puis l'objet qui a fait l'office de modèle disparaît en ne laissant que son masque galvanique qui, après décapage intérieur, est remis au bain, pour devenir, par renforcement intérieur, un ornement massif. Dans ces conditions, il reçoit le degré de résistance nécessaire pour lui permettre de s'appliquer par la soudure sur tous les objets en métal.

Un nouveau mode de décoration des miroirs vient d'être indiqué par M. Villon.

Le miroir ordinaire, tout en remplissant parfaitement son but, est bien monotone. Il manque de variété et de cachet artistique, surtout depuis que les glaces entrent pour une large part dans la décoration de nos habitations.

Il est vrai que l'artiste reporte son talent sur l'encadrement et les dispositions annexes. Il est cependant un autre mode de décoration qui ne manquera pas d'avoir une certaine vogue par la variété des sujets et aussi parce que le talent de l'artiste, les procédés scientifiques et l'imagination industrielle seront mis en œuvre pour son exécution.

L'idée est empruntée aux Chinois. Ceux-ci peignent des sujets variés sur des feuilles d'étain bien tendues, avec des couleurs à l'eau, dont on facilite le coulage sur l'étain en y introduisant du fiel de bœuf purifié. Il est essentiel que les teintes soient plates, et que les couleurs soient tirées du règne végétal. Dès que le dessin est achevé et sec on le pose sur une glace bien propre, puis on met au tain en recouvrant la glace avec du mercure.

La peinture est fixée sur le verre par l'adhésion de la feuille d'étain amalgamée.

Ceci établi, il est facile de songer à appliquer la peinture, la photopeinture, les reports lithographiques, chromolithographiques ou photolytiques.

Préparation de la feuille d'étain. — Le dessin doit être effectué sur étain soit directement, soit par report, soit même par les procédés photographiques.

La peinture directe sur étain ne présente aucune difficulté.

Elle n'est pas nouvelle, du reste, car elle a été pratiquée en 1866 par Jean-Marie Lasché, à Paris. On prend une feuille d'étain mince ayant une grande souplesse, et on l'étend sur une glace, en ayant soin d'humecter celle-ci, afin d'étendre plus facilement la feuille et pour augmenter l'adhérence.

Au moyen d'un rouleau en flanelle, on plaque bien la feuille, de façon qu'elle ne fasse aucun pli, ni la moindre soufflure. A la place du verre, on peut se servir d'une feuille de zinc bien plane et bien polie. La feuille d'étain ainsi tendue, constitue une surface très lisse, sur laquelle l'artiste procède à la peinture du sujet à l'aide de couleur à l'eau, c'est-à-dire avec des couleurs à l'aquarelle, en n'employant, toutefois, que des couleurs à base végétale ou les laques d'alumine, de tanin, de magnésie, etc. L'eau avec laquelle on délaye les couleurs doit être additionnée d'un peu de gomme arabique, d'alumine et de fiel de bœuf.

On donne la préférence à la gomme arabique et au fiel de bœuf. Pour éviter que les couleurs s'écaillent après la dessiccation, on peut additionner la couleur avec un peu de glycérine. On pourra faire usage du liquide suivant pour délayer les couleurs :

Eau.	100 grammes.
Gomme arabique	80 —
Fiel de bœuf.	20 —
Glycérine	10 —

La peinture étant terminée, on sèche dans un courant d'air chaud, qui redonne aux couleurs le brillant et l'éclat primitifs, qu'elles gardent ensuite indéfiniment.

Étamage. — La surface étant bien sèche, on l'applique sur la glace de verre, préalablement polie, dégraissée et nettoyée. Avec une brosse d'abord et avec un rouleau de flanelle ensuite, on étend bien la feuille d'étain de manière qu'elle ne fasse aucun pli, aucune bosse.

La glace est mise sur une table bien horizontale ; on verse un peu de mercure et, à l'aide d'un tampon de drap on l'étend sur la surface de la feuille qui est rendue unie.

On verse alors sur la feuille autant de mercure qu'elle en peut retenir par adhésion, 20 kilogrammes par mètre carré environ. On laisse quelques heures en cet état, puis on place dessus un fort plateau en bois chargé avec des pierres et le tout est abandonné pendant vingt-quatre heures.

Lorsque le motif destiné à orner la glace est très petit relativement à la grandeur de celle-ci, on procède, comme nous venons de le décrire, mais avec

une feuille d'étain de la grandeur du modèle; une fois celle-ci fixée, on étame la glace comme d'habitude.

Les effets décoratifs obtenus par ce nouveau procédé, sont très beaux. Les peintures ne conviennent que pour orner les bords des glaces avec des fleurs, des oiseaux, etc. Quelquefois un simple médaillon entouré de fleurs est posé dans un angle.

Les photographies peuvent ne servir que pour orner, mais on peut aussi leur faire occuper toute la surface de la glace et obtenir des dessins noirs ou colorés sur fond brillant, ou des sujets brillants sur fond noir ou de couleur.

GLACES BRUTES MINCES COULÉES

Vers 1850, M. J. Hartley, de Sunderland, eut l'idée de fabriquer pour les vitrages et les couvertures des serres, marquises, auvents, abris, des verres plus minces, d'une fabrication plus économique que les grandes glaces coulées; ces glaces étaient désignées sous le nom de *rolled plate*, en Angleterre.

Plusieurs verriers anglais ont imité M. Hartley; puis la Compagnie de Saint-Gobain a mis en pratique ces procédés, et a donné à ces glaces le nom de *verres à reliefs* à cause du dessin en creux existant sur les tables de fonte sur lesquelles on coule et lamine ces glaces. Nous n'avons pas à insister sur les appli-

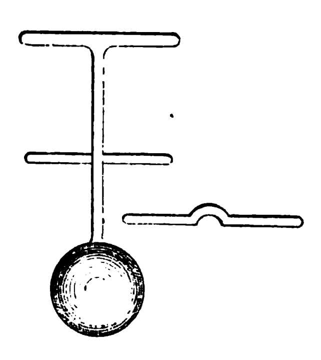


FIG. 262.

cations de ces verres qui sont fort nombreuses et au sujet desquelles M. Salvetat a fait, il y a quelques années une communication à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Le soufflage du verre à vitre représente une main-d'œuvre coûteuse. Le *trégetage* du verre à glaces est devenu une opération superflue. En rejetant le premier mode d'opérer et en prenant au contraire une manière de faire intermédiaire entre le soufflage et le trégetage on est arrivé à un mode de fabrication satisfaisant pour des verres qui sont plus épais que le verre soufflé, moins épais que la glace, d'un prix supérieur au verre à vitres, d'une valeur moindre que les glaces.

Comme dans le trégetage, pour la fabrication qui nous occupe on puise le verre dans les creusets à l'aide de *poches* en cuivre ou en acier fondu lesquelles contiennent 20 à 30 kilogrammes de verre. Une de ces poches, manœuvrée par trois hommes, est plongée dans un creuset plein de verre, puis une fois emplie est amenée au-dessus d'une petite table en fonte sur laquelle on la vide. A l'aide d'un rouleau uni on lamine ce verre auquel la largeur et l'épaisseur sont données à l'aide de tringles et de « mains » ou guides, comme pour le coulage des grandes glaces. L'épaisseur donnée à ces glaces, la longueur et la largeur sont limitées, d'une part par l'épaisseur des tringles sur lesquelles avance le rouleau, d'autre part par la capacité des poches, puis par les dimensions ou superficie des tables. La cannelure, le relief, donné à ces glaces a pour but de masquer les défauts qui se trouvent dans ces glaces, défauts qui résultent du mode de coulage ; il a en outre l'avantage de donner moins de transparence au verre, ce qui donne encore plus d'extension aux emplois auxquels ces verres sont destinés.

Au lieu de former le dessin sur la face inférieure de la feuille de verre, on peut opérer de la façon inverse, en employant une table unie et un rouleau gravé qui imprime les dessins qu'il porte sur la face supérieure de la feuille.

Cette manière de faire permet d'obtenir des dessins de forme variée, très déliés, donnant au verre un effet décoratif très satisfaisant. Ces verres sont fabriqués en France par la Compagnie de Saint-Gobain qui s'en est assuré la fabrication et la vente en Belgique et en France.

Ces glaces une fois coulées, laminées, sont, comme les grandes glaces, introduites dans le four à recuire ou carcaise ; là elles sont relevées afin d'y occuper moins de place, puis après refroidissement elles sont enlevées, équarries, et livrées au commerce.

Ces produits sont désignés sous le nom de *verres de toiture*, *verres coulés à reliefs*, ou *verres striés*.

Le *verre cannelé* et le *verre à petits losanges* (fig. 263, 264) s'emploient concurremment pour cloisons, portes, fenêtres, dans les écoles, bureaux, magasins,

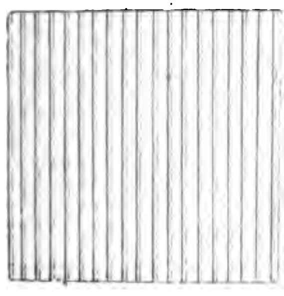
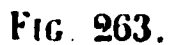



Fig. 263.

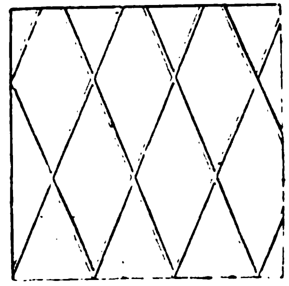


Fig. 264.

locaux industriels, gares, halles, marchés, serres, vérandahs, cours vitrées, habitations, etc.

Le verre simplement cannelé s'applique tout spécialement à la toiture.

Le poids des feuilles est d'environ 12 kil, 500 par mètre carré.

L'épaisseur varie de 4 à 6 millimètres.

Les feuilles de 2 mètres de long sur 0m,50 de large rentrent dans les dimensions courante; les ailes du Palais du Trocadéro sont vitrées avec des feuilles de 2m,82 de longueur sur 0m,62 de largeur.

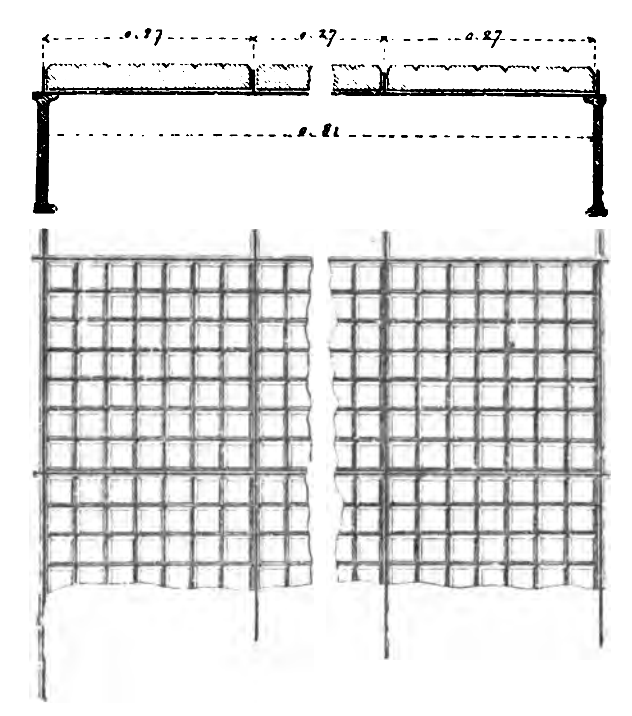


FIG. 263.

RÉSISTANCE DES VERRES A RELIEFS DE SAINT-GOBAIN

NATURE DU VERRE.	ÉPAISSEUR moyenne des feuilles.	POIDS MOYEN des balles de plomb qui ont cassé les verres.	
Verre double ordinaire.	3mm,5	8 grammes.	Ces chiffres sont le résultat d'expériences faites sur 10 feuilles de chacune des espèces de verres, à l'aide de balles de plomb qu'on a laissé tomber d'une hauteur de 18 mètres.
— — dépoli.	3	2 —	
— triple dépoli.	6	6 —	
Verre coulé de Saint-Gobain strié. .	5	16 —	
Verre coulé de Saint-Gobain losangé.	5	16 —	

Le dépolissage fait perdre au verre une grande partie de sa force.

Les verres à reliefs de Saint-Gobain sont huit fois plus résistants que le verre double dépoli, et environ trois fois plus que le verre triple dépoli.

Parmi les nombreuses applications, on peut citer :

A Paris : l'Hippodrome, la Société du Val d'Osne et les ateliers Mignonnet-Rouart, l'administation des Pompes funèbres, les ateliers Marinoni, la gare d'Orléans, le Palais du Trocadéro, l'Hôtel des Postes, l'Hôtel de Ville, la gare Saint-Lazare, etc.

En province : les gares de Nevers, Lyon, Grenoble, Mâcon, Compagnie des Dombes, Orléans, etc., les ateliers du Creusot, les marchés de Dijon, Bordeaux, etc.

Indépendament des glaces minces ou verres à reliefs on emploie aussi depuis quelques années des *dalles* — ou glaces brutes — épaisses de 20 à 30 et 35

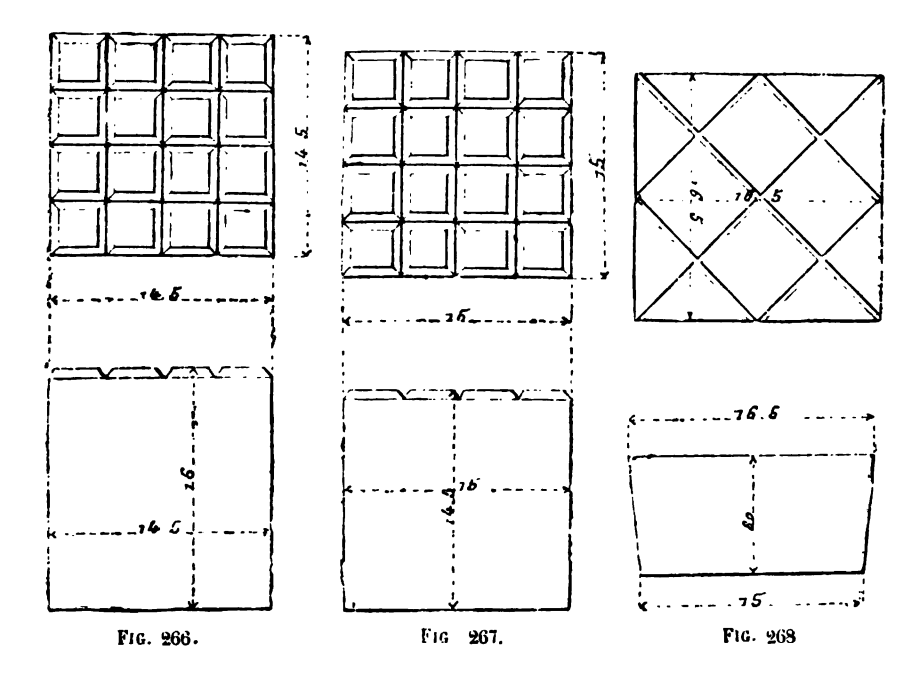


Fig. 266. Fig. 267. Fig. 268.

millimètres. Quand les glaces ont plus de 14 millimètres d'épaisseur, elles prennent le nom de dalles. Ces pièces servent généralement à l'éclairage des sous-sols, et se posent sur des châssis en fer (fig. 265). On fabrique également des pavés en verre sur lesquels les voitures et les chevaux peuvent circuler (fig. 266, 267, 268).

Ces dalles peuvent être moulées suivant toutes formes et dessins au gré de l'acheteur.

Les moules que l'on emploie couramment permettent de livrer, à bref délai, des dalles carrées ou rectangulaires, dont les dimensions peuvent varier suivant deux échelles : soit de 3 centimètres en 3 centimètres, soit de 4 centimètres en 4 centimètres, jusqu'à 0^{m},60 de côté et même au delà.

L'épaisseur de ces dalles varie de 30 à 35 millimètres, et le poids du mètre carré, de 75 à 80 kilogrammes.

La vente se fait au poids.

Verre perforé. — M. Émile Trélat a pensé que des vitres qui, en même temps qu'elles laisseraient passer la lumière pourraient distribuer l'air nécessaire à la ventilation dans un état de division et d'épanouissement suffisant, seraient préférables aux appareils de ventilation très imparfaits employés généralement dans les endroits publics, les hôpitaux, etc., puisque, par suite de leur transparence même et des nettoyages obligés auxquels on doit les soumettre, elles seraient dans les meilleures conditions pour assurer leur bon fonctionnement et leur efficacité.

M. Charles Herscher, ingénieur-constructeur, se faisant l'écho des desiderata de M. Émile Trélat, s'est chargé de leur exécution et s'est adressé à MM. Appert, pour leur fabrication.

MM. Appert ont pensé à faire les trous dans le verre en même temps que la feuille de verre elle-même, et en opérant par coulage et moulage.

On verse le verre liquide sur une table en métal à la surface de laquelle on a ménagé des parties en relief ayant la forme et l'espacement des trous que l'on veut obtenir; on exerce sur le flot de verre une pression suffisante pour l'amener à l'épaisseur voulue, déterminée par des règles de la hauteur nécessaire.

La pression peut être obtenue par un rouleau ou par une presse à mouler le verre, employée communément en verrerie.

Les verres sont généralement obtenus sous une pression de 50 kilogrammes par centimètre carré.

Au moment du moulage, les saillies qui doivent former les trous sont submergées par le verre liquide qui y a été versé; aussi, une fois le moulage terminé, les saillies du moule sont-elles recouvertes d'une mince couche de verre qui bouche les trous sur une de ses faces.

Cette couche de verre, dont on détermine l'épaisseur par la saillie des petits troncs de cône de la table, a une épaisseur d'un cinquième de millimètre environ et on peut en opérer le débouchage de plusieurs façons, soit au jet de sable, soit en la rongeant par l'acide fluorhydrique, soit par un foret tournant avec rapidité.

Ce dernier moyen est le plus expéditif : avec un foret de section hexagonale tournant avec une vitesse de 700 à 800 tours par minute, une ouvrière peut déboucher 2.000 à 2.400 trous à l'heure.

Cet ensemble de procédés a permis de diminuer les frais de fabrication de ce verre et de le livrer au commerce à un prix suffisamment réduit pour en permettre l'emploi d'une façon très générale.

Ce verre peut être poli sur une ou deux faces par un procédé analogue à celui employé pour le polissage des glaces.

Dans les locaux où une ventilation permanente serait gênante, on met derrière le verre perforé un verre plein, monté dans un châssis mobile qu'on ferme à volonté.

Un petit dispositif très simple imaginé par MM. Genest et Herscher permet, au moyen d'une tringle coudée, de fermer ou d'ouvrir ce châssis avec la plus grande facilité.

On peut encore superposer deux feuilles de verre perforé, et, par un faible

mouvement de translation de l'une d'elles, égal au diamètre d'un trou, faire coïncider les trous des deux feuilles de verre, et produire la ventilation, qu'on interrompt par le mouvement contraire.

Ces verres sont employés pour la ventilation dans un grand nombre d'endroits : tels que hôpitaux, salles d'étude, des lycées et écoles, ateliers et filatures, cabinets d'aisances, écuries, etc. Ce verre peut servir pour d'autres usages : tels que pour clore les ouvertures des garde-manger, pour les tablettes supportant les aliments ou remplaçant avec avantage les toiles métalliques; les mouches ne peuvent pas en effet passer par ces trous de 3 millimètres.

Il peut servir aussi pour des filtrations et des tamisages.

Une des grandes améliorations apportées à l'hygiène des habitations, il y a quelques trois cents ans, a été l'emploi du verre pour clore les fenêtres, permettant ainsi de faire entrer en abondance l'agent d'oxydation par excellence : la lumière. L'emploi judicieux des vitres perforées en augmentera encore les bienfaits, puisqu'il donne la faculté d'introduire simultanément dans la pièce d'habitation ces deux éléments indispensables à l'existence humaine et à son entretien : l'air et la lumière.

Verre grillagé. — Nous terminerons ce qui a trait au verre coulé, en donnant la description du mode de fabrication d'un verre spécial dit verre grillagé. Ce verre est obtenu par l'insertion d'un réseau métallique dans l'épaisseur d'une feuille de verre.

Il est inutile d'insister ici sur les avantages qu'on pourra retirer de l'emploi de ce verre dans la construction.

L'existence d'un réseau métallique supprime tout danger qui pourrait résulter de la rupture du verre en assurant une liaison qui subsiste après rupture entre toutes les parties de la feuille de verre. Dans les grandes constructions : ateliers, halles, gares de chemins de fer, on a toujours à ménager d'immenses verrières dont les vitres sont exposées à de multiples causes de bris. Ces verrières étaient construites en feuilles épaisses de verre coulé, ce qui leur donnait beaucoup de solidité, mais exposait en même temps à des accidents plus graves.

Quelquefois on a recours à des toiles métalliques disposées sous les verrières; mais, outre que les frais de pose se trouvent être notablement augmentés, on doit reconnaître que, par suite des altérations auxquelles ces toiles métalliques sont exposées, elles deviennent rapidement inefficaces.

Dans le cas de la toile noyée dans le verre, cet inconvénient n'existe plus, car elle se conserve intacte, et est toujours en mesure de jouer efficacement un rôle protecteur.

Les essais qui ont été tentés, en 1886, par MM. Bécoulet et Bellet, en 1892, par M. Schumann, et antérieurement par un grand nombre d'inventeurs ne donnent satisfaction que d'une façon incomplète.

Pour satisfaire aux diverses conditions qu'exige la fabrication de ce genre de verre, le procédé à mettre en œuvre doit :

1° Permettre d'introduire le réseau métallique dans la pâte du verre d'une

façon complète et régulière et à la distance des surfaces de la feuille fabriquée, qu'on fixera à l'avance;

2° Permettre d'employer des réseaux à fils aussi ténus et aussi écartés que possible, en un mot juste suffisant pour répondre aux conditions de sécurité demandées, tout en évitant de diminuer la transparence du verre et de nuire à sa solidité.

Le nouveau procédé imaginé par M. Appert est caractérisé par la superpo-

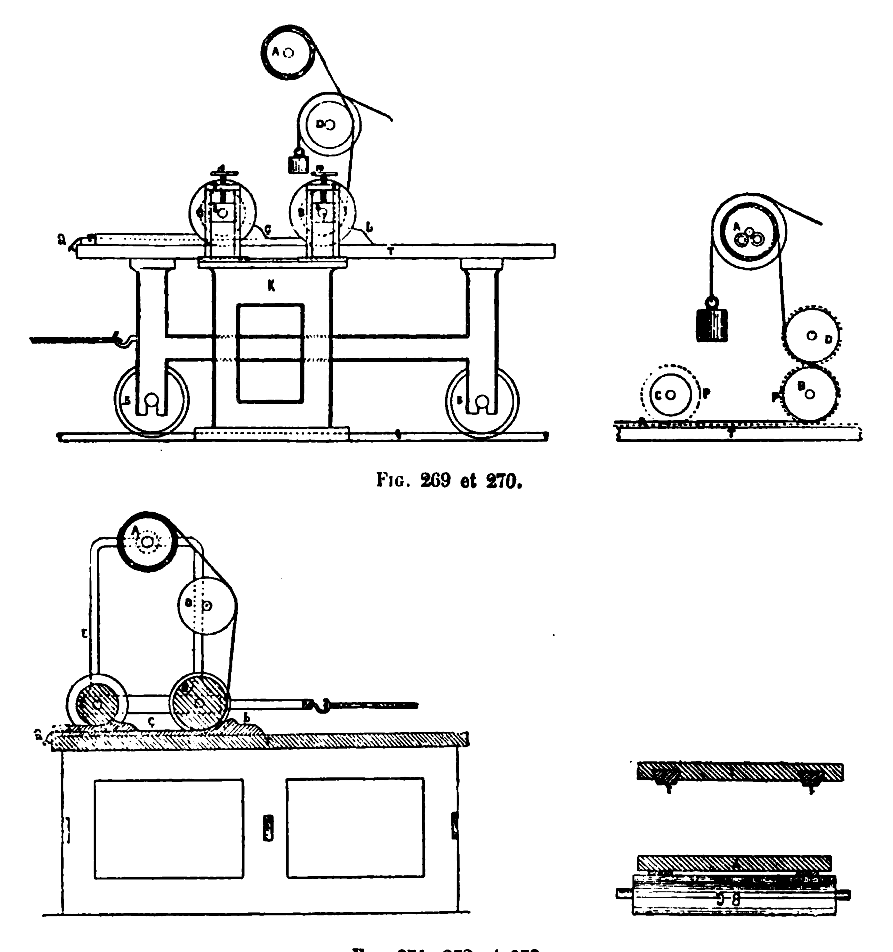


Fig. 269 et 270.

Fig. 271, 272 et 273.

sition de deux feuilles de verre parfaitement soudées et amalgamées ensemble au moment même de leur laminage et entre lesquelles le réseau métallique, convenablement préparé, a été introduit simultanément au coulage des deux couches de verre.

C'est cette simultanéité du coulage et de l'interposition du réseau métallique qui caractérise le nouveau procédé.

Deux dispositifs de machine peuvent être adoptés pour sa mise en œuvre :

ou bien l'appareil lamineur est fixe et la table mobile, ou bien l'appareil lamineur se déplace au-dessus de la table fixe.

Dans l'un et l'autre cas, le réseau métallique préparé de longueur et largeur égales ou mieux inférieures à celles de la feuille de verre à fabriquer est fixe sur un rouleau A placé au-dessus des appareils de laminage, et dispositifs de machine. Une des deux extrémités du réseau métallique est représenté aux figures (269 à 273) qui donnent une vue schématique des deux attaché provisoirement et pour la durée du temps de laminage, à l'extrémité de la table de coulage T.

Ce réseau est soutenu à la hauteur convenable par une règle *r* qui la maintient à une distance voulue de la table, égale à l'épaisseur de la première couche de verre.

Entre ce rouleau A et le point d'attache *a*, le réseau métallique vient s'appliquer sur un deuxième rouleau B qui est porté sur la table en fonte par l'intermédiaire de deux règles en acier 1 et 2, ou bien sur deux rondelles 3 et 4 formant frettes à ses deux extrémités. Les règles ou les rondelles sont d'épaisseur égale à l'épaisseur que devra posséder la deuxième couche de verre. Enfin, derrière ce rouleau B, parallèlement à lui et pouvant se déplacer dans le même sens, on voit un troisième rouleau qui s'appuie sur la table par l'intermédiaire de deux règles ou de deux frettes ayant l'épaisseur définitive que la feuille doit avoir une fois terminée.

La distance qui sépare le rouleau B du rouleau C doit pouvoir varier, suivant la nature du verre employé et l'épaisseur de la feuille à fabriquer. Elle doit être telle que le versage d'une poche de verre ou d'un creuset puisse être effectué sans difficulté.

Une fois bien arrêtée, cette distance doit rester invariable pendant le cours de la fabrication.

Voici comment fonctionne l'appareil, suivant que la table est mobile et les rouleaux fixes ou suivant que la table est fixe et les rouleaux mobiles

Premier cas. — La table est mobile.

Dans ce cas, la table est portée sur des galets 5 roulant sur des rails 6 convenablement écartés; les rouleaux B et C sont traversés par des arbres 7 dont les fusées tournent dans des coussinets 8 glissant eux-mêmes dans des cages en fonte 9 portées sur un bâti K fixé dans le sol; des ressorts ou vis 10 agissant sur les coussinets permettent aux rouleaux d'exercer la pression voulue sur le verre au moment du laminage. La cage portant les coussinets du rouleau C peut être éloignée ou rapprochée à volonté de la cage du rouleau B; de plus, deux pignons P montés sur les arbres engrènent avec deux crémaillères R placées longitudinalement à la table de manière à être entrainées par elle au moment de sa translation.

Enfin, un quatrième rouleau D ayant la même vitesse que le rouleau B est placé au-dessus de lui, il est destiné à entrainer le réseau métallique et en même temps à l'étendre transversalement.

Pour obtenir ce résultat, la surface de ce rouleau présente la forme d'un rouleau de carde, c'est-à-dire qu'elle est garnie de saillies dans lesquelles les

fils peuvent se prendre momentanément; de plus, le rouleau étant en forme de tonneau, le réseau tend continuellement à s'écarter et à s'élargir. Pour maintenir la tension du réseau métallique, il est bon de munir le rouleau A, sur lequel il est enroulé, d'un système de frein quelconque permettant d'éviter son entraînement, ou de régler à volonté sa vitesse, ainsi qu'il est représenté schématiquement à la figure 6.

On procède à la fabrication d'une feuille de verre grillagé de la façon suivante :

Le réseau métallique ayant été attaché à la table par des fils aussi fins que possible, on coule le verre de la manière ordinaire au moyen d'une poche ou d'un creuset qui déverse le verre sur la table T, en *b* devant le rouleau B, puis on donne le mouvement à la table. Le réseau actionné tangentiellement au rouleau B se soude avec le verre qui se lamine en même temps sous ce rouleau, tout en restant à la surface de la feuille de verre; puis, dès que l'opération est commencée, on verse une nouvelle quantité de verre fondu en *c* derrière le rouleau B et en avant du rouleau *c*. Cette nouvelle masse de verre se lamine à son tour sur l'autre et, en se soudant avec elle, forme la feuille de verre qui est ainsi terminée à ses dimensions définitives.

Deuxième cas. — La table est fixe et les rouleaux sont mobiles.

On verse comme précédemment le verre fondu en *b* devant le rouleau B, et on met en mouvement le bâti portant les rouleaux B et C; aussitôt après, on verse une nouvelle quantité de verre en *c* devant le rouleau C, qui se trouve être laminée et soudée comme il a été dit plus haut. Le laminage étant terminé, on coupe vivement avec des ciseaux les fils métalliques qui tiennent le réseau attaché à la table et on laisse la feuille de verre dans un four à recuire où il est procédé à son réchauffage et à sa recuisson comme d'habitude.

L'opération étant terminée, on procède à une deuxième; pour cela on remplace le rouleau A qui est fou sur ses axes par un autre sur lequel un réseau a été enroulé au préalable, on l'attache à la table au point *a* et on le tend.

On voit que, par l'un ou l'autre des procédés que nous venons de décrire, rien ne s'oppose à ce qu'on obtienne des feuilles de verre de dimensions analogues à celles des feuilles ordinaires fabriquées par laminage.

Ce procédé de fabrication du verre avec réseau métallique intérieur est des plus simples, et ne peut amener qu'une augmentation très faible du prix de revient, augmentation qui sera largement compensée d'ailleurs par les avantages que le verre grillagé présente sur le verre ordinaire.

CHAPITRE II

GLACES SOUFFLÉES

Nous avons écrit au chapitre traitant du verre de Bohême que l'on fabrique encore du verre à vitres et des glaces soufflées. Cette dernière fabrication n'a jamais été interrompue en Bohême, les miroirs connus sous le nom de miroirs de Nuremberg y sont encore fabriqués. Quelques-unes de ces glaces ont une superficie qui atteint 3 mètres; elles sont travaillées pour la plupart comme les glaces coulées et amenées ainsi d'une épaisseur primitive de 4 millimètres environ à une épaisseur de 1 1/2 à 2 millimètres; cette diminution d'épaisseur enlève beaucoup de défauts.

La première manière de fabriquer les glaces fut celle des Vénitiens que l'on pratiqua à Paris, à Tourlaville et à Saint-Gobain. Ce procédé consistait à cueillir le verre avec la canne, puis on le soufflait en cylindre que l'on étendait pour en faire une table, laquelle était ensuite soumise au travail de doucissage et de polissage pour être en état de recevoir le *tain*.

Pendant longtemps les glaces soufflées à Tourlaville et à Saint-Gobain étaient envoyées brutes à Paris, où cette Compagnie avait conservé ses ateliers de doucissage et de polissage. Le soufflage resta en usage à Saint-Gobain concurremment avec le coulage jusqu'en 1763. On avait cru jusque-là que le soufflage était utile pour produire économiquement les petits volumes; mais les glaces coulées n'en produisaient que trop par la découpe que nécessitaient les défauts de toutes sortes qu'on ne pouvait éviter. La suppression du soufflage à Saint-Gobain est due à M. Deslandes.

MM. Chance, de Birmingham, eurent l'idée d'aplanir le plus parfaitement possible le verre soufflé afin de lui enlever très peu d'épaisseur, ce qui leur permettait de souffler plus mince, et d'user moins fortement.

Les perfectionnements que James Chance en Angleterre, a donnés au travail des feuilles de verre, par le doucissage mécanique, permettent au verre de rivaliser avec les glaces coulées, dont il a le poli et le bel aspect — tout en étant d'un prix moins élevé.

James Chance a eu l'idée ingénieuse de placer chaque feuille de verre, destinée à être doucie et polie, sur une surface plane, couverte d'un morceau humide de cuir doux. La feuille adhère complètement au cuir, contre lequel elle a été pressée, elle produit, de fait, un vide, de sorte que par la pression de l'atmosphère la feuille entière est maintenue dans une position plane. Deux feuilles ayant été placées de cette manière, chacune sur la surface adhérente, on les tourne l'une contre l'autre dans une position horizontale, en fournissant constamment du sable et de l'eau entre elles; et au moyen d'un mécanisme ingénieux, les deux surfaces se frottent rapidement l'une contre l'autre dans toutes

les directions et sont doucies en même temps par le sable. Quand le doucissage a été bien fait sur une surface, on tourne les feuilles et on fait doucir l'autre surface de la même façon.

La feuille étant doucie, en la maintenant parfaitement plane, il n'est pas nécessaire d'user plus d'une mince couche de la surface entière. Naturellement, après l'opération, la feuille en vertu de sa propre élasticité reprend sa première forme plus ou moins courbe, mais la chose est de peu d'importance, puisque les lignes de flot ont disparu et que les deux côtés ont un poli aussi parfait que la glace coulée.

Les Anglais désignent ces glaces sous le nom de *patent Plateglass.*

LIVRE HUITIÈME

CHAPITRE PREMIER

VERRE A BOUTEILLES

L'invention du verre ne parut aux joyeux et francs buveurs des festins de Rabelais qu'un moyen de transformer, de solidifier l'eau, d'en faire des vases transparents destinés à contenir le vin. Sans être Pantagruel ou Grandgousier, il est permis, avec le Sganarelle de Molière (1), de rendre justice à ce liquide généreux dont la France est si bien pourvue, mais on doit rendre ici hommage et s'émerveiller d'une invention qui a procuré à l'homme tant de bien-être, tant de plaisir et tant de savoir.

Les anciens conservaient leurs vins dans des outres en peau.

Cependant l'antique Égypte nous a laissé des bouteilles : bouteilles lisses, ou recouvertes de treillis d'osier ou de papyrus, et ces dernières sont encore désignées de nos jours par les Égyptiens sous le nom de Damadjan.

Les Romains se servaient aussi de bouteilles, Horace y fait allusion dans plusieurs de ses odes.

A Athènes, à Rome, chez les gens peu aisés, on plaçait sur les tables, des carafes et des bouteilles pour l'eau et le vin.

La figure 274 reproduit une de ces carafes qui se trouve au musée du château de Saint-Germain.

On voyait encore sur les tables, des burettes de verre pour l'huile et le vinaigre ; nous avons vu une paire de ces burettes conservées dans leur porte-huilier et provenant des ruines de Pompéi (fig. 274 *bis*).

L'usage de la bouteille date du treizième siècle et ne devint général qu'au quinzième siècle.

(1) SGANARELLE.

Qu'ils sont doux,
Bouteille jolie,
Qu'ils sont doux,
Vos petits glouglous !
Mais mon sort ferait bien des jaloux
Si vous étiez toujours remplie.
Ah ! bouteille ma mie,
Pourquoi vous videz-vous ?
....

(*Le Médecin malgré lui*, acte I, scène VI).

La première verrerie française fut fondée en 1290, à Quiquengrogne, près de la Capelle (Aisne). Cette verrerie appartenait au vicomte van Leempoel, des brevets lui furent octroyés par Charles de Bourgogne (1467), François Ier (1523),



Fig. 274.

par Charles IX (1565), par Henri III (1574), Henri IV (1598). Cette verrerie est éteinte depuis trois ou quatre ans, subissant la loi de l'industrie moderne, succombant dans la lutte avec d'autres verreries plus favorisées sous le rapport des communications, des débouchés, etc.



Fig. 274 *bis*.

Au début, le verre à bouteilles était presque noir, de nos jours la couleur de ce verre s'est transformée et le *verre bouteille* a fait place à un verre transparent peu coloré.

La fabrication des bouteilles est très importante en France ; on en produit an-

nuellement cent quatre-vingts millions qui représentent une valeur de 35 à 40 millions de francs. — En 1881, on a exporté :

39,900,026	kilos de bouteilles pleines pour.....	6,384,004	francs.
14,125,278	— vides pour.....	2,118,792	—
54,025,304	kilos.	8,502,796	—

cent quarante fours environ sont appliqués à cette fabrication des bouteilles. Depuis quelques années, le phylloxera qui a ravagé les principaux vignobles de France a été une cause de diminution de la fabrication des bouteilles.

La fabrication des bouteilles pour les vins mousseux est très importante et en même temps très délicate ; on exige pour ces bouteilles une solidité, une régularité d'épaisseur, qu'on n'obtient que par le choix des matières premières, par des compositions très courantes, des soins extrêmes apportés dans la fabrication, dans la *recuisson*. Certains fabricants emploient à cet effet, très peu de calcin, ou prescrivent même complètement, pour cette fabrication spéciale, l'emploi des débris de verre. Une bonne bouteille champenoise doit résister, à l'essai, à une pression de trente atmosphères.

Le verre à bouteilles contient peu d'alcali, une grande quantité de chaux, d'alumine, d'oxyde de fer et quelquefois d'oxyde de manganèse.

La grande quantité de matières terreuses employées pour cette vitrification est une des difficultés de travail du verre à bouteilles. On évite ces inconvénients en maintenant le four à une assez haute température, en ne prolongeant pas trop la durée du travail.

Une opération, spéciale à la fabrication des bouteilles, et qu'on nomme la *fritte* des compositions, paraît avoir une réelle importance à cause de la nature même des compositions employées pour la fusion de ce verre.

La fritte a pour but de dessécher les matières en chassant l'eau et l'acide carbonique qui se trouvent dans les produits employés, dégagement qui aurait pour conséquence un abaissement considérable de la température du four de fusion, et est une cause de détérioration du creuset. Par l'opération de la fritte l'alcali se trouve en partie déjà uni à la silice, d'où il résulte que le creuset est moins attaqué par la fritte que par la composition non frittée. Par la fritte, la composition subit un retrait considérable, tandis qu'au contraire dans l'enfournement direct des compositions, la masse se gonfle et une grande partie se trouve ainsi projetée hors du creuset.

Le frittage se justifie tant au point de vue chimique qu'au point de vue physique par la considération suivante. Au point de vue chimique, il est acquis que dans cette opération 16 pour 100 du chlorure alcalin employé sont décomposés en cédant au mélange des sables la quantité de soude correspondante. En présence de la silice, de la chaux, de la magnésie et de la vapeur d'eau, il y a formation de silicate de soude et d'acide chlorhydrique ; pendant la fonte du verre, un peu plus du double, soit 33 à 34 pour 100 du chlorure de sodium mis dans la composition, donne encore du silicate de soude, soit par réaction de l'acide sulfurique libre sur le chlorure, soit par réaction de la vapeur d'eau en présence de la silice sur le même sel. Toujours est-il que si l'on fait exactement le calcul de la

quantité de soude fournie par les différents sels rapportés à 100 de matières fixes dans la composition, on trouve que le verre doit contenir, outre la soude provenant des sels proprement dits, 50 à 52 pour 100 de soude ne pouvant provenir que du chlorure de sodium. De ces 52 pour 100, 16 pour 100 ont été transformés par le frittage, 34 à 36 pour 100 l'ont été par la fusion.

Pour le sulfate alcalin, le frittage bien conduit en décompose 27 pour 100 du poids introduit, soit un peu plus du quart. Enfin tous les carbonates terreux sont décomposés.

Au point de vue physique, il n'est pas indifférent de jeter sur du verre fondu, des matières froides ou des matières déjà portées au rouge vif. L'empâtement qui en résulte pour le verre fondu de l'addition de sables froids, détermine ce qu'on nomme la fonte « à plat ». La mousse recouvre les matières, forme ainsi une enveloppe isolante, qui retarde de plusieurs heures la fusion complète et l'affinage.

Donc, le frittage est plus et mieux qu'une utilisation des flammes perdues dans les anciens fours.

Les fabricants de bouteilles ont l'habitude d'ajouter à leurs compositions une forte proportion de sel marin, ou de sels de warechs (lesquels contiennent 80 pour 100 environ de sel marin). Par l'opération de la fritte ce sel se dessèche, décrépite et commence à se coller à la silice, d'où il résulte que l'action corrosive du sel sur le creuset est considérablement diminuée. Il résulte de ces explications que l'opération de la fritte peut être considérée comme une préparation nécessaire de cette composition spéciale, économique, servant à la fabriposition du verre à bouteilles. En rappelant l'importance de la fritte dans cette branche spéciale de la verrerie, nous ne pouvons trop insister sur l'importance qu'il y a à réaliser industriellement la réaction de la silice sur le sel marin en présence de la vapeur d'eau et d'une température élevée ($SiO^3 + NaCl + HO = SiO^3 NaO + HCl$). Jusqu'ici, la *température élevée* nécessaire à l'accomplissement de cette réaction et la silicatisation superficielle rendant en quelque sorte le reste de la masse imperméable, ont été l'obstacle contre lequels sont venus se briser les efforts des inventeurs.

Cette question a une importance capitale et mérite d'être étudiée avec persévérance. L'influence d'un courant de vapeur arrivant avec *une forte pression* sur la silice très divisée et fortement chauffée est peut-être un des moyens de résoudre la question. Nous n'insisterons pas plus longuement sur la fabrication du verre à bouteilles, nous désirons parler du frittage des compositions, en montrer l'importance et dire que l'importante innovation de Fr. Siemens, relativement à la suppression du creuset et à la vitrification directe sur la sole de fours spéciaux, est un fait résolu pour la fabrication des bouteilles. Ces fours sont employés maintenant en Allemagne, notamment à Dresde et Elbogen; en Angleterre, en Amérique, en Belgique, en France à Rive-de-Gier; chez M. Richarme, qui le premier, croyons-nous, a appliqué à cette fabrication, et à celle du verre à vitres, ce système de four; à Montluçon, chez M. Duchet; dans le Nord et en Champagne. Il est à désirer que l'usage de ces fours devienne général et que les fabricants de bouteilles profitent ainsi de l'économie de 45 à 50 pour 100 sur le combustible, et de l'énorme production que permet de réaliser la conti-

nuité du travail avec ces fours. Nous ne parlerons pas ici des fours à bassin ou cuve, décrits au chapitre spécial des fours. Qu'il nous suffise de dire qu'avec un four à dix ouvreaux, dont le bassin contient en marche normale 85000 kilogrammes de verre fondu, on peut produire environ quatre millions de bouteilles par an ; un ouvrier faisant six cents bouteilles en douze heures, ce qui fait douze cents bouteilles par ouvreau et par four, soit trois cent soixante mille bouteilles par mois, ou 270000 kilogrammes de verre ; ce four consommant 300 tonnes par mois, c'est-à-dire 1kg,12 de houille par kilogramme de verre, y compris la recuisson qui se fait au gaz également.

A la verrerie de M. Siemens à Elbogen (Bohême), il existe trois fours à bassin ayant vingt-quatre, trente-deux, trente-six ouvreaux. A chaque ouvreau il y a : un maître verrier, son grand gamin, son porteur. Un quatrième four est par moitié four continu à bassin à seize ouvreaux, par moitié four à douze creusets.

Le travail aux fours continus à bassin est en moyenne de vingt heures, tandis que le travail du four à creusets est de dix heures par jour.

On obtient une production quotidienne de cent dix mille bouteilles, soit une production de près de 85000 kilogrammes de verre travaillé.

Composition des mélanges vitrifiables. — A Rive-de-Gier et dans le bassin de la Loire, on emploie généralement le mélange suivant :

Sable du Rhône	100
Chaux éteinte	24
Sulfate de soude	8

A Lyon, on emploie ce mélange :

Sable du Rhône	100
Sulfate de soude	8
Carbonate de chaux	10
Charbon en poudre	6

En Belgique, à Charleroi, M. Houtart-Roullier faisait usage, il y a quelques années, du mélange :

Sable du pays	10
Cendres de tourbe	20
Sulfate de soude	15
Calcaire	5
Débris de bouteilles (calcin)	50

On voit d'après ces divers mélanges que la composition chimique du verre à bouteilles doit présenter des différences sensibles.

Voici des résultats d'analyses faites sur du verre à bouteilles de différentes provenances :

	Verre clair Cognac.	Bordeaux.	Champagne.	Verre d'Epinac.	Vauxrot.	Folembray.	Fourmies.	Rive-de-Gier. (Richarme)
	—	—	—	—	—	—	—	—
Silice	62,54	61,75	61,90	59,6	59,70	63,90	62,50	57,20
Alumine	4,42	7,10	4,44	6,8	2,39	3,52	2,93	11,70
Peroxyde de fer	1,34	2,70	1,85	4,4	2,21	1,64	2,17	1,00
Chaux	20,47	19,60	17,95	18,0	21,40	20,17	21,30	19,30
Magnésie	5,41	4,55	6,38	7,0	8,00	3,90	4,00	»
Soude	4,73	4,10	6,16	3,2	6,10	6,26	6,80	5,98
Oxyde de manganèse	»	0,11	»	0,4	»	»	»	0,55
Potasse	0,94	»	1,13	»	»	0,47	0,50	2,85
Acide sulfurique	0,10	0,09	0,17	»	»	0,46	»	»
	99,95	100,00	99,98	99,4	99,80	99,50	100,20	98,58

La silice, l'alumine, la chaux prises séparément sont très réfractaires; il n'en est plus de même lorsqu'elles sont associées, et surtout lorsque ces matières contiennent une assez forte proportion d'oxyde de fer. C'est sur cette propriété qu'on s'est basé dans les préparations des mélanges vitrifiables destinés aux bouteilles, afin de réduire le plus possible la proportion d'alcali, matière la plus chère de la composition et obtenir ainsi un mélange économique. La Société anglaise de Britten fabrique même des bouteilles avec des scories de hauts fourneaux auxquelles on ajoute une certaine quantité de fondants. On place contre le haut fourneau un four de verrerie, dans lequel on fait couler le laitier; on utilise ainsi les matières dont il se compose ainsi que la chaleur acquise. Jusqu'ici on n'avait introduit dans le verre que les scories froides, et pour les liquéfier de nouveau il fallait une nouvelle quantité de chaleur, et c'est en cela que l'application de la Société de Britten offre de l'intérêt.

A cause de la forte proportion de chaux, de sable argileux contenus dans les compositions du verre à bouteilles, le verre est souvent sujet à la *dévitrification*; on évite ce défaut en maintenant le four à une assez haute température, et en ne prolongeant pas trop la durée du travail.

La fabrication des bouteilles, quoique étant encore empirique sous bien des rapports, demande cependant des soins de plusieurs sortes. La composition du verre ne doit pas être altérée par les liquides que doit contenir la bouteille. Non seulement les acides énergiques, comme l'acide sulfurique, l'acide chlo rhydrique, l'acide acétique, etc., attaquent le verre, mais les vins eux-mêmes attaquent les bouteilles de mauvaise qualité.

NATURE ET COMPOSITION CHIMIQUE DU VERRE DES BOUTEILLES A VIN

On a souvent répété que les verres trop riches en alcalis ou en alumine étaient mauvais et dangereux, et, de fait, la pratique indique les accidents que les vins peuvent subir par un séjour prolongé dans des bouteilles facilement attaquables; mais nous n'avons pas, jusqu'ici, de faits suffisamment déterminés pour établir les conditions dans lesquelles doit se trouver le verre, et les propriétés qu'il doit posséder pour résister à l'action des éléments du vin.

Il faut considérer deux choses: la composition chimique du verre, et sa

structure, car c'est par l'ensemble de ces deux conditions que le récipient destiné à contenir du vin acquiert les propriétés nécessaires pour donner de bons résultats.

Dans un tableau qui contient les résultats de recherches faites sur le verre des bouteilles le plus généralement employées dans le commerce des vins, M. le docteur Macagno, directeur de la section agricole de Palerme, a voulu exprimer la relation qui existe entre sa composition et sa propriété de résister à l'action de l'eau et du bitartrate de potasse.

Chaque bouteille porte le nom du vin qu'elle est destinée à contenir, selon l'habitude généralement admise.

Le poids spécifique, les bases et l'acide silicique ont été déterminés par les procédés ordinaires. La solubilité dans l'eau a été déduite de la quantité de matière que 100 grammes de verre, en poudre très fine, abandonnent à 5 litres d'eau après une heure d'ébullition. Le degré de corrosion a été fixé par la quantité d'acide tartrique que 100 grammes de la même poudre neutralisent après une heure d'ébullition dans 5 litres d'une solution à 0,333 pour 100 de crème de tartre. Pendant l'ébullition, le volume du liquide a été maintenu constant à l'aide d'un réfrigérant renversé.

Le n° 24 a donné des traces de magnésie. On a cherché la magnésie dans les autres échantillons, mais c'est seulement dans les n° 16, 17, 19, 21, 27, 34, qu'on en a constaté quelque peu qui a été évalué avec la chaux.

Nous n'avons pu trouver aucun rapport entre la quantité de chaux, d'alumine ou d'alcali et la solubilité ou le degré de corrosion, pour aucun des verres essayés, à l'exception des verres blancs; cela résulte de la comparaison des nos 11, 13, 14, 15 et 28, avec les nos 2, 12 et 28 pour les alcalis et des nos 8, 24, 29, 31, 32 et 33 avec les nos 20, 26 et 28 pour la chaux et l'alumine.

Il n'y a pas non plus de relation bien tranchée entre le poids spécifique et les autres propriétés du verre; d'après les moyennes, il semble qu'il soit en raison inverse du degré de corrosion ou de solubilité : mais en examinant les résultats directs, cette relation disparaît.

Il a encore été fait d'autres essais. Les bouteilles 1, 2 et 5, moyennement riches en alcalis et faiblement attaquables ; les bouteilles 9, 10, 22 et 23, très riches en potasse et en soude et très attaquables, et les bouteilles 11, 14 et 28, contenant peu d'alcali et très peu solubles dans l'eau ou l'acide tartrique, ont été soumises à l'action directe du gaz acide chlorhydrique humide pendant plusieurs jours, après les avoir remplies de gaz et fermées avec un bon bouchon.

M. Macagno espérait voir le verre de ces bouteilles se troubler en raison directe, ou de leur richesse en alcalis, ou de leur résistance à l'eau et à l'acide tartrique. Au contraire, pas une seule n'a donné lieu à une séparation d'acide silicique : toutes sont restées limpides et claires.

Il faut conclure de ces essais que la composition chimique d'un verre à bouteilles n'est pas un caractère suffisant pour juger de sa qualité au point de vue de la conservation des vins. Il faudra toujours avoir recours à des expériences spéciales permettant d'apprécier la constitution moléculaire de la pâte vitreuse et sa résistance aux agents corrosifs.

Les bouteilles n'ont pas toutes la même forme; les bouteilles adoptées pour les

vins de Bordeaux, pour les vins de Bourgogne ont des types tout différents. La bouteille destinée au vin de Champagne diffère aussi de celle destinée au bourgogne. Toutes ces bouteilles ont des capacités variant entre 60 à 88 centilitres, et il est fort difficile d'adopter une contenance rigoureusement exacte pour une même espèce de bouteilles; cette contenance variera toujours de 1 à 3 centilitres. Les bouteilles à champagne doivent être bien régulières de forme et d'épaisseur, afin de résister à la pression à laquelle elles sont soumises, surtout pendant les premiers temps de la fermentation qui occasionne dans les caves une casse d'environ 10 pour 100. Le verre doit être exempt de pierres, de bulles, la couleur doit être d'un vert clair, ni bleu, ni irisé, le poids doit être compris entre 850 et 900 grammes. L'embouchure doit être légèrement conique afin de retenir le bouchon et assurer la conservation du vin.

Fabrication. — Quand la masse vitreuse enfermée dans les creusets, ou sur la sole du four, est bien fondue et affinée et que la « braise » ou « tise froid » a amené le verre à une consistance convenable, on commence le travail. Il y a quatre ouvriers par creuset ou par ouvreau : le *gamin*, le *grand garçon*, le *souffleur* et le *porteur*.

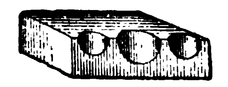
La *canne*, instrument principal dont se sert le souffleur pour façonner la bouteille, est un tube en fer forgé de 1^{m},80 de long, d'un diamètre de 3 centimètres extérieur et de 1 centimètre à l'intérieur.

Le *nez* de la canne B est renflée, l'extrémité A, que le souffleur se met dans la bouche, est entourée d'un petit manchon en bois qui sert de poignée.



Fig. 275.

Pendant ce travail, l'ouvrier souffleur est placé sur une estrade, auprès des ouvreaux, à 1 mètre au-dessus du sol; le gamin commence à chauffer la canne, l'introduisant dans un petit ouvreau spécial, puis il la plonge dans le verre en la tournant sur elle-même; le verre s'attache à la canne; cette opération est répétée une seconde fois, puis une troisième par le *grand garçon* qui prépare


Fig. 276.

son verre en tournant la masse sur le *marbre* de manière à le distribuer également autour de la canne. Le marbre est une pièce de fer, de fonte, de grès ou de bois (fig. 276), bien dressée, dans laquelle se trouvent des cavités demi-sphériques. La masse de verre prise au bout de la canne dite *paraison*, bien arrondie sur ce marbre, est réchauffée à l'ouvreau de travail. A ce moment la paraison a la forme d'une poire A (fig. 277). Pendant que la canne est à réchauffer, on la tourne à droite, à gauche afin d'éviter, la déformation de la masse vitreuse.

Quand elle a atteint le degré de chaleur voulue, le grand garçon relève la canne verticalement et souffle dedans en lui imprimant un mouvement d'oscillation, la masse prend alors la forme B.

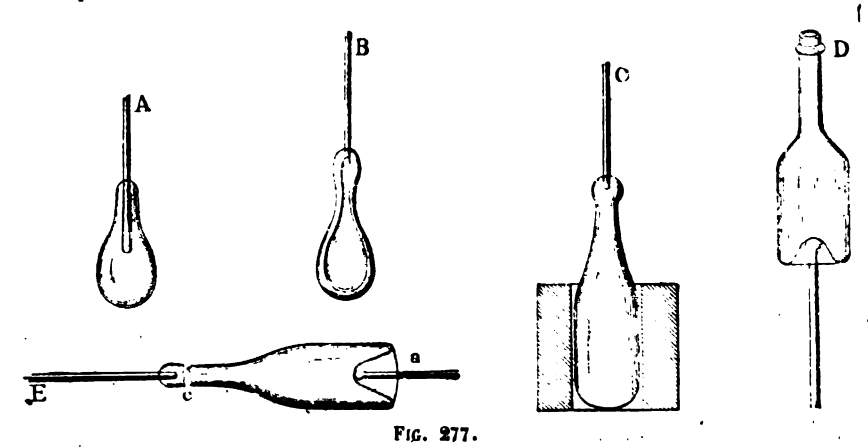
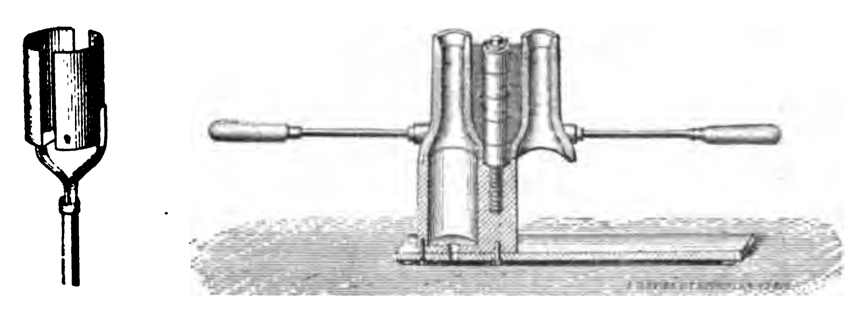


Fig. 277.

On réchauffe de nouveau la masse; quand elle est ramollie, le souffleur la prend pour lui donner la forme de bouteille. Pour cela il l'introduit (C) dans un moule en argile et souffle énergiquement; à mesure que le verre soufflé arrive au contact des parois du moule, l'ouvrier tire la canne vers le haut pour former le col et pour que le passage du col au ventre se fasse insensiblement. On réchauffe alors le fond seul de la pièce, et, pour lui donner la forme voulue, le grand garçon appuie à l'aide d'une tige de fer, ou *pontil*, préalablement


Fig. 277 *bis*. Fig. 277 *ter*.

chauffée et portant un peu de verre à son extrémité, au centre du fond en le repoussant un peu au dedans (E). La canne est alors séparée du col de la bouteille, la bouteille est soutenue par le pontil fixé au fond; il reste à entourer le col d'une bague (D), ce qu'on fait avec du verre rapporté. La bouteille ainsi terminée est reçue par le porteur dans une pince en fer ou dans un instrument appelé sabot (fig. 277 *bis*) et portée au four à recuire.

Le four à recuire a un foyer central; de chaque côté on empile des bouteilles jusqu'à en remplir le four; on élève la température vers 300 degrés; puis on ferme

toutes les ouvertures, on laisse refroidir lentement et on défourne après quarante-huit heures.

Il y a des fours à recuire à feu continu; ces fours sont usités principalement dans la gobeletterie; les pièces à recuire sont placées dans des chariots qui, entraînés par une chaîne sans fin, s'éloignent peu à peu du foyer et arrivent à sortir du four presque complètement refroidies à l'extrémité opposée au foyer.

M. F. Siemens, à sa verrerie de Dresde, d'abord, puis à sa verrerie d'Elbogen (Bohême), a essayé et appliqué un nouveau mode de recuisson par le gaz.

Nous devons ces renseignements à l'obligeance de M. Ferd. Steinmann (1), ingénieur civil à Dresde, et nous avons, du reste, vu à Dresde l'application de ces procédés.

Nous donnons plus loin la description de cette manière d'opérer.

Pour avoir plus de régularité dans la forme des bouteilles, on emploie des moules à chaînettes dont voici un des types (fig. 277 *ter*), dû à M. Carillion.

M. Bontemps nous a affirmé avoir vu des moules à peu près semblables qui étaient employés en Écosse en 1829, c'est-à-dire bien avant l'invention de M. Carillion.

Avec ce moule, on fait des bouteilles bordelaises à fond plat, d'une capacité de

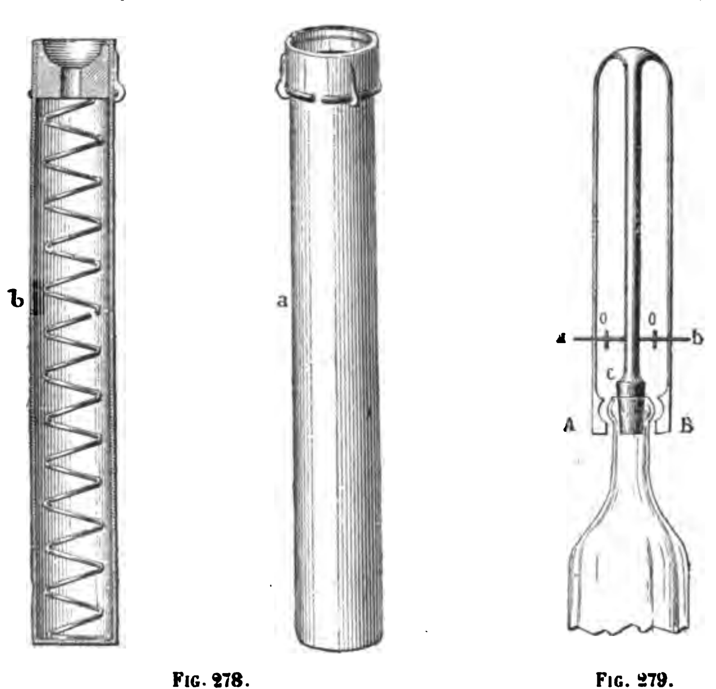


Fig. 278. Fig. 279.

70 centilitres et du poids de 750 grammes. Avant de se servir de ce moule on le ferme et on le chauffe. On amène la paraison, comme il a été dit précédemment, à une forme convenable; on l'introduit dans le moule, pendant que le gamin l'ouvre et le referme; l'ouvrier souffle d'abord avec la bouche, puis avec le

(1) Auteur de l'ouvrage *Bericht über die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der Gasfeuerungen*. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1879.

piston ou pompe Robinet (fig. 278). Le fond du moule est percé de trous permettant l'échappement de l'air afin que le verre s'applique contre ses parois.

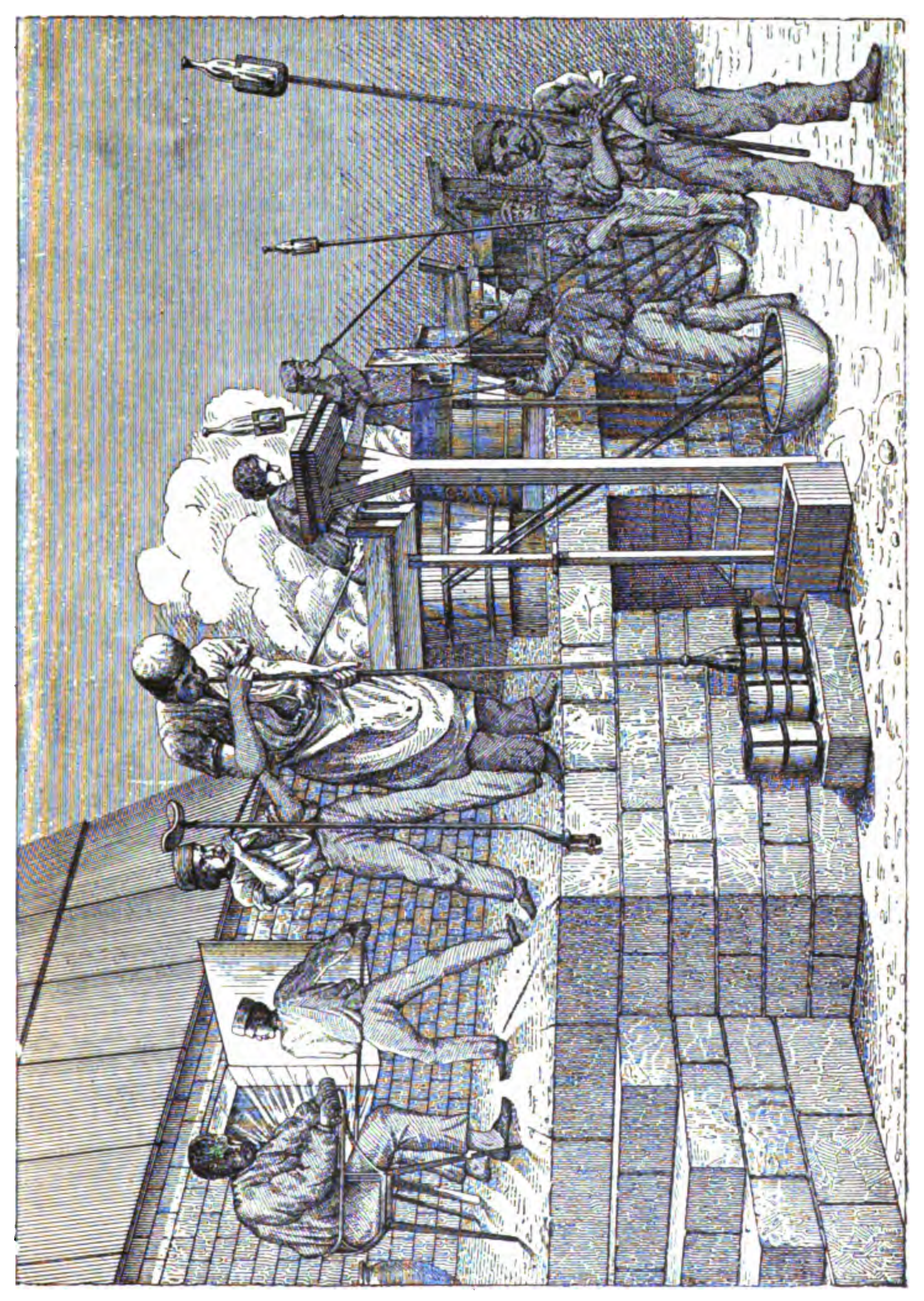


Fig. 280.

Cette pompe de Robinet est un petit cylindre en laiton fermé par un bout, dans l'intérieur duquel se trouve un ressort à boudin en fer; à sa partie inférieure est une sorte de piston en bois avec une ouverture garnie de cuir, retenu par une fermeture à baïonnette percée d'un trou. La canne étant tenue verticale, son embouchure est mise en contact avec le piston, on comprime par un mouvement brusque, donné au ressort, l'air contenu dans le cylindre et on injecte cet air dans la pièce qu'on veut fabriquer.

Pour les bouteilles champenoises, dont le goulot doit être parfaitement dressé, on forme le col et la bague avec une pince spéciale (fig. 279) à l'aide de laquelle l'ouvrier écrase et pare le verre en le comprimant avec l'extrémité AB qui donne le profil de la bague; en même temps la partie pleine C, légèrement conique, donne au goulot une forme régulière et invariable.

On emploie également des moules en terre, mais ces moules sont peu répandus.

Pour souffler les pièces de grande capacité, comme les bonbonnes, les touries, l'ouvrier prend de l'eau, ou de l'alcool, dans la bouche et l'injecte par la canne dans le ballon commencé. L'extrémité de la canne est bouchée à l'aide du pouce du verrier; l'eau, réduite en vapeur, presse contre les parois et les dilate jusqu'à la dimension voulue. Il faut, pour réussir cette opération, des ouvriers habiles.

Nous donnons ci-dessus la disposition d'une halle de verrerie de bouteilles, au moment du travail (fig. 280).

M. Houtart, maître de verrerie à Denain, a apporté aux diverses parties du travail des bouteilles des modifications très ingénieuses dont nous donnerons ici la description.

Tout d'abord nous parlerons du moule qu'a imaginé M. Houtart (voir planche XXVII, fig. 1 à 8).

La figure 1 représente le moule vu du côté des pédales.

La figure 2 représente le moule ouvert vu de côté.

La figure 3 représente le moule fermé avec la bouteille piquée.

La figure 4 représente le moule vu du côté opposé aux pédales.

La figure 5 représente le fond total.

La figure 6 représente la coupe verticale du fond et de la piqûre.

La figure 7 représente la partie métallique du fond.

La figure 8 représente l'étrier inférieur sur lequel doit reposer la molette, piqûre ou mandrin.

Le moule se compose : n° 1, d'une partie inférieure, cylindrique à l'extérieur et légèrement conique à l'intérieur, afin de permettre le démoulage de la bouteille dont cette partie est destinée à modeler le corps;

N° 2, d'une partie supérieure destinée à donner la forme aux épaules et au col (dôme et goulot) de la bouteille et s'ouvrant en deux sections sur des charnières horizontales C.

Dans le bas de la pièce n° 1 se trouve ménagé un logement creux, cylindrique, plus large que le diamètre conique du surplus de cette partie. C'est dans ce logement qu'est placé le fond.

Ce dernier se compose de deux parties :

L'une A, en fonte, en cuivre ou en bronze, dont le centre est traversé par la molette destinée à faire la fonceuse;

L'autre B, en terre réfractaire, sépare cette première partie du corps du moule formant matrice du dôme et du col. Elle est de la largeur du galbe de la bouteille.

Ces deux parties constituent le fond, mais sans adhérer l'une à l'autre; grâce au léger intervalle qui les sépare, les parties métalliques peuvent se dilater sans comprimer la pièce en terre réfractaire.

La partie métallique A affecte la forme d'un chapeau à haute forme à bords plats, mais sans fond, quand le mandrin est retiré.

A l'intérieur, c'est un disque métallique au milieu duquel s'élève un cylindre qui de haut en bas est creux et où peut s'élever et descendre la molette.

Sa partie supérieure est formée par un rebord annulaire en cuvette, coupé, d'intervalle en intervalle, par des canaux rectangulaires ou triangulaires correspondant à des dentelures ou cannelures qui, à la partie centrale inférieure de ce disque, laissent arriver l'air, même quand la molette au repos, engagée dans le cylindre, en obture la partie supérieure sans surgir encore.

Pendant le soufflage et le tournage, la partie B a pour fonction de maintenir le verre destiné à former le jable de la bouteille à une température plus élevée que celui qui touche les parois du moule et la partie A du fond.

Le verre qui repose sur la partie A étant, d'ailleurs, plus malléable que celui qui s'applique sur les parois formatrices du col et du dôme, il en résulte que trois températures existent dans la masse de la paraison jusqu'à l'achèvement de la bouteille.

L'existence simultanée de ces trois états de température est une condition qu'il est absolument nécessaire de remplir.

Supposons, en effet, la bouteille soufflée :

Les parties latérales supérieures seront glacées en tournant contre les parois internes du moule; B étant en terre, mauvaise conductrice de la chaleur, la partie du verre en contact avec B se trouvera encore très malléable quand le col et le dôme seront déjà refroidis et solidifiés.

Le verre en contact avec A sera également resté malléable, grâce au mouvement de rotation donné à la paraison par l'ouvrier souffleur qui aura mis alternativement le verre sur une partie pleine et une partie vide.

Toutefois la malléabilité sera moindre en A qu'en B, B ne mettant pas du tout le verre en contact avec le métal bon conducteur de la chaleur.

Par le mouvement de rotation qu'il imprime à la bouteille dans le moule, l'ouvrier obtient une surface glacée et bien plus régulière que celle qui est obtenue dans les moules à périphérie tournante. Il évite en même temps que le jable ne reçoive l'empreinte des rugosités du fond B en terre cuite, ce qui est inévitable dans le cas des moules constitués par la combinaison d'une périphérie tournante et d'un fond fixe en terre sur lequel la paraison reste constamment immobile.

La molette ou piqûre, au lieu d'être creuse, comme dans les autres systèmes, est constituée par un cylindre plein. Elle est disposée de façon à pouvoir être facilement enlevée lorsqu'elle est encrassée et empêchée de fonctionner par

la fumée résultant de la combustion des copeaux ou de la sciure de bois qu'on met dans le moule pour faciliter le travail.

Lorsque l'ouvrier appuie le talon sur la pédale n° 2, il fait mouvoir, par l'intermédiaire d'une tige n° 3, un levier L qui a pour fonction de peser de bas en haut sur la molette et de la faire surgir dans le moule à la hauteur voulue pour former le fond de la bouteille.

Pour fermer le moule, l'ouvrier appuie la pointe du pied sur la pédale A, et lorsqu'il s'agit de piquer, il appuie le talon sur la seconde pédale B, qui fait mouvoir la tige intermédiaire n° 3, laquelle correspond au levier chargé de faire remonter la molette à la hauteur voulue.

Avec le même pied, il fait mouvoir les deux pédales et la tige intermédiaire qui détermine la fonçure.

Lorsque la molette est entraînée à la hauteur voulue dans le cul de la bouteille, la pédale n° 2 est réglée dans sa course descendante par un marteau D qui vient s'appuyer sur le contrepoids H.

Quand la piqûre est terminée, l'ouvrier abandonne les deux pédales ; le contrepoids H, qui est en H', reprend sa position primitive en H, fait remonter la pédale n° 1, qui est reliée à lui par la charnière K, et la pédale n° 2, laquelle se trouve suspendue par le marteau D.

Par ces divers mouvements, la partie du verre qui est en B remonte à la suite et forme le jable avec une régularité qu'il serait, paraît-il, impossible d'obtenir au moyen de la fixité du fond de la bouteille sur un fond tout en terre.

Un des avantages que présente le moule du système Houtart sur ceux à fond fixe recevant une paraison fixe (comme le moule Lilbey et ses dérivés), c'est que, dans les moules à fond fixe et à périphérie tournante, la moindre fente qui se produit au fond oblige à son remplacement si l'on ne veut pas que le fond de la bouteille ait des stries épousant la forme de cette fente ; tandis que, dans le moule dont nous parlons, la rotation de la paraison empêche toute empreinte de se produire, que la partie B soit fendue ou non.

Ce moule présente encore l'avantage d'être indépendant de la place de l'ouvrier.

Une longue expérience a démontré qu'avec ce système on obtient des bouteilles parfaitement lisses depuis le col jusque dans le fond de la piqûre et un jable toujours bien horizontal, ce qui permet à la bouteille de se tenir toujours bien perpendiculaire à la surface sur laquelle elle repose.

Transporteur mécanique destiné à renvoyer au four à recuire les bouteilles ou tous autres objets en verre. — M. Houtard a imaginé tout récemment un appareil excessivement ingénieux, destiné au transport des bouteilles dans le four à recuire. Il est arrivé à supprimer tous les porteurs et à réaliser ainsi une économie considérable sur la main-d'œuvre.

L'appareil (planche XXVIII, fig. 1, 2, 3), se compose de deux bâtis AA', montés sur coulisses et reliés par des fers à T : B, B. Sur ces fers à T sont montés des galets G destinés à guider la courroie C placée sur champ, à laquelle sont fixées des tiges supportant des godets-porteurs D (fig. 1 et 3).

La courroie C glisse sur les galets G et entraîne avec elle les godets-porteurs, dont le fond est monté à bascule et occupe à vide une position horizontale. Sur l'axe de rotation du fond et à l'extérieur du godet est fixé un taquet qui est placé normalement par rapport au fond du godet.

Des récepteurs O placés à demeure devant la place de l'ouvrier ont pour but de lui permettre d'y déposer sans perte de temps la bouteille qu'il vient de fabriquer. Une trappe, maintenue fermée par un contrepoids, se trouve à l'un des côtés du récepteur.

Quand le premier godet vide passe sous le récepteur, le taquet ouvre la trappe, et la bouteille glisse dans le godet. Par suite de l'articulation du fond, celui-ci s'incline aussitôt la bouteille reçue, le taquet s'écarte de sa position verticale et le godet passe librement sous d'autres récepteurs sans les actionner. Le godet, par cette disposition, ne prend et ne peut prendre qu'une seule bouteille. La trappe du récepteur, en vertu du contrepoids, se referme aussitôt la bouteille reçue dans le godet, et ce dernier poursuit sans arrêt sa route pour aller déverser la bouteille en S sur un plan incliné qui la conduit au fourneau. Le godet, qui est articulé de façon à pouvoir s'incliner de l'avant à l'arrière, est maintenu horizontalement par les glissières E, qui servent en même temps de guides afin d'éviter le mouvement de bascule. Arrivé au bâti A', le godet quitte la glissière et se trouve conduit par une barre de fer disposée en culbuteur. Cette barre de fer est courbée de façon à relever le godet de l'arrière à l'avant; l'objet à recuire se trouvant dans le godet est déversé sur le plan incliné S et de là se rend dans le fourneau à recuire. Le godet, entraîné par la courroie, quitte le culbuteur et reprend sa position normale, prêt à recevoir un nouvel objet.

Les godets-porteurs, rapprochés aussi près que l'on voudra, permettront d'enlever rapidement les objets fabriqués pour les porter au fourneau à recuire Il n'y a donc pas lieu de craindre le refroidissement de l'objet à transporter, puisque celui-ci arrive au fourneau plus vite que lorsqu'il y est porté par le gamin porteur.

Un autre point remarquable et qui constitue la valeur de l'appareil, c'est qu'il peut être appliqué à n'importe quel four, quelles que soient sa disposition et la distance qui le sépare du four de recuisson.

Appareil Houtart permettant le classement des bouteilles suivant leur capacité. — Pour opérer le mesurage des bouteilles et pour les classer d'après leur contenance, on a eu l'idée toute naturelle de les remplir d'eau qu'on déversait ensuite dans des vases gradués. Cette opération s'est d'abord effectuée à la main et bouteille à bouteille, ce qui exigeait un temps considérable.

Plus tard on fit usage d'un appareil composé de deux arbres tournants parallèles, entre les deux extrémités desquels étaient placées les bouteilles; celles-ci, emplies d'eau à la partie inférieure, étaient ensuite renversées dans un vase mesureur, par la rotation de la machine.

Mais toujours, quelque rapide que fût le mouvement, une notable portion du liquide s'écoulait pendant l'opération, ce qui occasionnait des erreurs.

L'appareil que nous allons décrire (planche XXXIX) permet de faire

le mesurage des bouteilles d'une façon très rapide et économique. Il est composé de deux croix parallèles rattachées chacune à l'extrémité d'un axe rotatif posé sur deux supports à coussinets dans lesquels l'ensemble tourne dès qu'il est actionné à la main. Pour chacune de ces croix, quatre rayons ou bras forment deux à deux un diamètre.

Les deux diamètres sont perpendiculaires l'un à l'autre; chaque bras porte à son extrémité une rondelle soutenant deux barres rattachées à la rondelle parallèle, de façon que, dans le sens de la génératrice du cylindre idéal que forme en tournant la double croix, on puisse disposer un grand nombre de bouteilles, une douzaine, par exemple.

On désigne sous le nom de portant, l'ensemble de deux rondelles et deux barres, destiné à maintenir les bouteilles.

Ces portants sont au nombre de quatre.

Quand l'un de ces portants est chargé de bouteilles, on fait décrire un quart de tour au moulinet et on charge le second portant, qui est venu se placer en face de l'ouvrier.

A ce moment, l'organe n° 1 plonge dans un bac rempli d'eau, où s'emplissent les bouteilles qu'il soutient; lorsque l'organe n° 2 se trouve chargé de bouteilles, on fait faire au moulinet un second quart de tour; l'organe n° 3 se place en face de l'ouvrier; l'organe n° 2 plonge dans le bac et l'organe n° 1 s'élève en face d'un second ouvrier qui renverse les bouteilles dans une série de mesures graduées.

Il ne reste plus qu'à enlever les bouteilles pour les classer en diverses catégories, selon leur contenance, puis à vider les mesures en faisant écouler dans le bac l'eau qu'y auront abandonnée les bouteilles.

La figure 1 représente en coupe verticale le moulinet vu de côté

Aux points KKKK sont les quatre bras.

Sur l'axe de soutènement formant marteau que chacun de ces bras porte à son extrémité vient s'adapter une plaque en tôle (fig. 3) qui, en son milieu, est percée du trou rond M afin de pouvoir tourner avec facilité autour de cet axe.

C'est entre deux de ces rondelles en tôle placées parallèlement sur chacun des rayons ou bras que s'insèrent les deux barres P, S, destinées à maintenir les bouteilles, une par le bas, l'autre par le haut.

Des entretoises y forment un cadre pour maintenir l'écartement des bras et fortifier l'ensemble.

Le bac contenant l'eau pour l'emplissage des bouteilles est figuré en AB.

En N on voit une barre de fer fixée par sa partie inférieure au bac AB. Elle forme à sa partie supérieure un coude sur lequel l'un des bras du moulinet vient reposer pendant que le second ouvrier est occupé à culbuter les bouteilles pleines dans les entonnoirs I, au-dessous desquels sont placés les vases mesureurs.

En O, une autre barre formant talon est destinée à empêcher le moulinet de fonctionner pendant qu'en L le premier ouvrier place les bouteilles sur le portant, pour ensuite, quand le chargement sera complet, les diriger par un quart de tour vers le bac d'emplissage.

Ces deux barres N et D, formant ressort, se placent automatiquement dès que l'un des bras devient horizontal.

Quand il s'agit de faire marcher le chargement vers un réservoir, le premier ouvrier écarte la barre O au moyen d'une poignée.

La figure 4 donne le détail des barres P et S qui, suivant que les bouteilles à mesurer sont plus ou moins hautes, peuvent être remontées ou abaissées au moyen d'écrous fixés dans une coulisse.

La barre P est munie de troncs de cône RR destinés à entrer dans le fond creux des bouteilles, pour les empêcher de glisser. Ces troncs de cône pourront être construits en bois, en caoutchouc vulcanisé, ou en toute autre matière de nature à ne pas briser le verre.

PROCÉDÉ ASHLEY USITÉ EN ANGLETERRE POUR LA FABRICATION DES BOUTEILLES.

La machine commence la fabrication de la bouteille par le goulot, de telle sorte que lorsqu'elle quitte l'appareil, elle est complètement terminée.

Dans ses lignes principales la machine ressemble à une croix ionique. La quantité de verre nécessaire pour faire une bouteille est déversée dans un moule en fer.

Du fond du moule surgit un plongeur qui donne la forme au goulot, un léger courant d'air étant en même temps injecté par le plongeur, qui est creux et fermé par une soupape à bouton. Le plongeur est alors retiré, la croix fait une demi-révolution et la masse de verre doux, chauffée au rouge, s'affaisse dans une forme destinée à modeler le verre de la bouteille. Pendant ce temps, les deux bras de la croix se retirent jusqu'à ce que les deux moitiés du moule extérieur que ces bras tiennent serrées arrivent à serrer aussi le verre.

Cette opération a pour effet d'amener à pleine force un courant d'air comprimé qui est projeté d'un réservoir à travers un petit tube, passe à travers les conduits de la machine et enfin à travers le bouton du plongeur et détend l'intérieur du verre jusqu'à ce que celui-ci ait gonflé suffisamment pour remplir le moule. La machine se renverse alors et la bouteille est retirée toute finie au bout d'environ six secondes.

La machine que nous avons vu fonctionner (1) n'avait qu'un moule; mais on fabrique maintenant des machines à quatre, six et huit moules qui tournent autour d'un axe vertical; de cette manière, il paraît qu'on pourra fabriquer de 16 à 24 bouteilles par minute (2).

Soufflage à l'air comprimé. — La fabrication d'objets soufflés de grande capacité présentait, jusqu'en ces derniers temps, de grandes difficultés. L'ouvrier avait recours à l'injection d'eau ou d'alcool, mais l'effet de ces

(1) A la verrerie de Dorignies, près Douai.

(2) M. Boucher, propriétaire de verrerie, à Dijon (?(est l'inventeur d'un procédé de fabrication et de moulage mécanique des bouteilles qni à première vue nous paraît être une modification du procédé Ashley.

Nous regrettons que l'inventeur n'ait pu nous communiquer ses idées ou ses dessins, les brevets n'étant pas pris au moment du tirage de cet ouvrage.

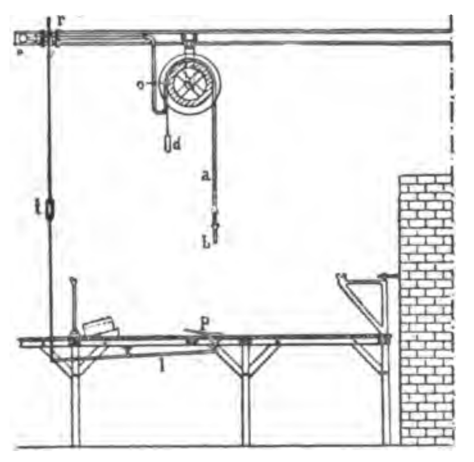
liquides ne pouvant être gradué à volonté, il en résultait une inégalité d'épaisseur des objets qui en compromettait la résistance.

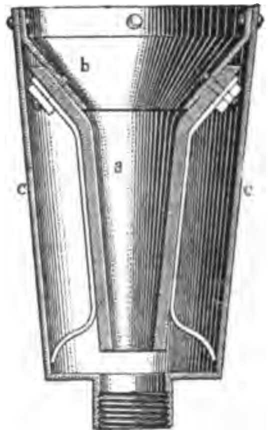
M. Appert a cherché à supprimer la partie la plus pénible du travail de l'ouvrier souffleur, en remplaçant le souffle humain par une injection d'air comprimé. Il a inventé un appareil pouvant se prêter au travail du soufflage pour des objets de toutes formes et de toutes dimensions : bouteilles, manchons de verre à vitres, etc. Suivant la nature de l'objet à souffler, l'appareil a reçu diverses modifications rendant possibles tous les mouvements que l'ouvrier doit donner à la canne. Rien ne le gêne dans son travail; il peut soit faire tourner rapidement la canne sur elle-même, soit la tenir verticalement, le « nez » en haut ou en bas, soit lui donner un mouvement de pendule.

La canne est reliée à la soufflerie d'air comprimé à l'aide d'un appareil dit « manchon à souffler » (fig. 282). Ce manchon est composé d'un cône en caoutchouc *a* fixé à son extrémité supérieure à un anneau conique *b* qui est lui-même adapté au revêtement *c* du manchon à souffler. La canne est reliée à la conduite d'air comprimé au moyen d'un tuyau en caoutchouc qui est maintenu serré par un anneau en cuivre à baïonnette.

En fixant la canne dans le cône en caoutchouc, elle en devient une partie intégrante et emporte avec elle, dans tous ses mouvements, le tuyau amenant l'air.

Cet appareil, très simple et peu encombrant, peut trouver sa place partout où le soufflage est pratiqué, aussi bien sur le « banc » du soufleur de menus objets que sur la place du verrier à vitres.





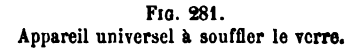

Fig. 281.
Appareil universel à souffler le verre.

Fig. 282.
Manchon à souffler.

Nous donnons ici la description sommaire de l'appareil dit « appareil universel » à souffler le verre.

Il se compose de deux pédales P (fig. 281) qui font saillie au-dessus de la plate-forme du travail et mettent en mouvement, par les tiges *lt*, un robinet d'arrêt automatique *r*, situé à la partie supérieure de l'atelier.

En pressant sur l'une ou l'autre des deux pédales, l'ouvrier ouvre le robinet I qui communique d'un côté avec le tuyau *e* amenant l'air comprimé, de l'autre avec un tuyau flexible *a* qui passe sur une poulie *o* et qui est relié avec une branche d'accouplement *b*. Un contrepoids *d* équilibre le poids du tuyau *a*, de telle sorte que ce tuyau s'allonge ou se raccourcit de lui-même.

Le soufflage à l'air comprimé, qui seul peut permettre la fabrication d'objets de dimensions colossales, témoin cette sphère de 1^{m},55 de diamètre dans laquelle on a pu découper 3.000 verres de montre, avait été étudié par M. Appert dans le but de rendre moins pénibles les conditions de travail du souffleur. Nous pouvons dire que son application a été partout considérée comme un véritable bienfait.

Depuis qu'il est question d'établir un monopole de la fabrication et de la vente de l'alcool, la question s'est posée d'avoir des bouteilles qu'on ne puisse remplir qu'une fois. Des brevets ont été pris pour des appareils résolvant le problème.

Voici un type de bouteille imaginé par M. E. Wyckoff — américain, — l'invention réside dans le goulot de la bouteille, lequel est composé de trois pièces :

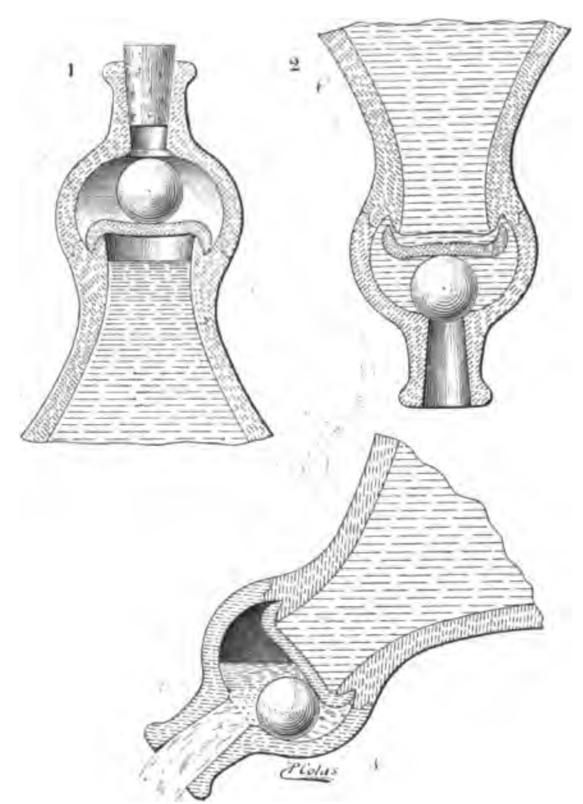


FIG. 283. — La bouteille qu'on ne peut remplir qu'une fois.

1. Position verticale. — 2. Position de remplissage du goulot.
3. Position de vidage de la réserve de liquide dans le goulot

une calotte hémisphérique percée d'un trou par lequel s'écoule le liquide, un disque en verre formant obturation et une petite bille interposée entre le disque obturateur et la calotte hémisphérique. Lorsque la bouteille, non munie de ses accessoires, a été remplie, on place la bille sur ce disque et on applique la calotte sur le goulot en fermant le joint à l'aide d'un mastic résistant, ce joint étant ensuite recouvert d'une bande de garantie qu'il faudrait déchirer pour remplir à nouveau la bouteille.

Si on retourne la bouteille dans la position représentée n° 2, la bille obture l'ouverture de la calotte, le disque descend sous l'action de la pesanteur et laisse écouler un peu de liquide qui vient remplir la cavité ménagée dans la calotte : en inclinant ensuite la bouteille dans la position représentée n° 3, la bille vient presser contre le disque, qui fait, à son tour, obturation sur le goulot, et ne laisse écouler qu'une certaine quantité de liquide.

En recommençant l'opération de renversement et d'inclinaison un certain nombre de fois, on fait écouler le liquide et on vide complètement la bouteille, mais celle-ci ne peut être remplie à nouveau qu'en détachant le goulot, ce que le ciment ne permet pas de faire, et en détruisant la bande de garantie, ce qui fait disparaître avec elle toute garantie absolue d'authenticité. Il serait facile d'obtenir un écoulement continu du liquide avec la bouteille renversée en perçant des trous dans la sphère, et en tenant la bouteille dans la position du n° 2; il est facile de comprendre que ce dispositif ne permettrait pas le remplissage de la bouteille par le bas, car l'air occupant le corps de cette bouteille n'aurait aucune issue et s'opposerait au remplissage.

CHAPITRE II

PROCÉDÉ DE RECUISSON AU FOUR DE M. SIEMENS

La plupart des procédés de recuisson employés jusqu'à ce jour pour les objets en verre, pèchent par plus d'un grave inconvénient; c'est que les températures des fours à recuire sont tenues plus basses qu'il ne faudrait pour obtenir la plus grande solidité possible des objets en verre.

Un autre inconvénient, qui se rattache étroitement au premier, c'est le temps nécessaire à la recuisson, temps que l'on prolonge indûment pour obtenir souvent des produits médiocrement solides.

Les procédés ordinaires de recuisson (ou de refroidissement) consistent, soit en grands compartiments de four, ou chambres chauffées, dans lesquels les objets en verre qui viennent d'être fabriqués sont rangés l'un près de l'autre dans le plus grand nombre possible, soit dans des fours-canaux ou autres installations de fours que l'on munit de chariots ou vases de diverses formes, dans lesquels on place les objets à recuire.

La première manière, qui est aussi la plus générale, a un inconvénient, c'est que les produits se pressent mutuellement, c'est-à-dire qu'ils supportent le poids de ceux que l'on range par-dessus, et perdent par conséquent leur forme, lorsque la température du four est amenée et maintenue au degré le plus élevé possible.

Il y a un autre inconvénient, c'est le laps de temps nécessaire pour recuire et refroidir d'une façon égale une aussi grande quantité de produits, surtout sans courant d'air artificiel, qui agirait d'une façon désastreuse et qu'il faut éviter d'une manière absolue.

A la suite des nombreux essais de M. Siemens, essais ayant trait aussi bien au procédé de recuisson qu'aux procédés de durcissement du verre, il fut constaté que les deux sortes de procédés sont d'égale importance et doivent reposer sur les mêmes principes.

Il y a, en effet, un principe général ainsi formulé : *plus l'objet à recuire ou à durcir est à une température élevée, plus le refroidissement doit être accéléré.* En supposant que ce refroidissement soit conduit d'une manière uniforme, graduelle, l'objet recuit ou durci sera d'autant plus capable de résister au choc, à la pression, au changement de température.

Le meilleur procédé de recuisson du verre, le plus parfait, consisterait à recuire chaque objet dans un compartiment spécial; mais alors il faut mettre de côté la question du prix de revient. La chose pourrait se faire en plaçant un à un les produits achevés dans une boîte hermétiquement fermée et chauffée dans un four jusqu'au degré voulu, en les y suspendant pour ainsi dire, de façon qu'ils ne touchent en aucun point la paroi du récipient. Ce récipient à recuire serait selon les circonstances en argile ou en tôle, mais il serait muni à l'intérieur de supports proéminents, destinés à maintenir l'objet à distance ; il serait de plus fermé par un couvercle aussi hermétiquement adapté que possible, et soumis comme l'objet en verre au refroidissement ordinaire : dans l'espace d'une heure, un récipient de cette nature livre une grosse bouteille parfaitement recuite, qui n'a pas la moindre disposition à éclater, et qui sous le rapport de la résistance se rapproche beaucoup du verre réellement durci. C'est pourquoi M. Siemens donne à ce procédé le nom de *recuite au dur.*

Mais un procédé de cette nature demande que chaque bouteille soit chauffée et refroidie en même temps que le récipient hermétiquement fermé dans lequel elle a été préalablement suspendue toute chaude et de manière à ne pas toucher directement les parois de ce vase. Ce procédé ne laisse pas que de demander du temps et ne peut s'appliquer à une production en grand. Aussi M. Siemens a-t-il, spécialement pour les bassins de fusion à travail continu, ainsi que pour les autres sortes de fours à verre, construit un système de deux fours maintenus constamment chauds, munis de chariots refroidisseurs installés d'une façon particulière, et dont la température doit s'élever constamment à 200 degrés centigrades au-dessus de celle des fours à recuire ordinaires.

Les figures 284, 284 *bis*, 285, 285 *bis*, représentent ces deux fours avec leurs chariots respectifs à deux phases des manipulations à décrire. Le four O (fig. 284 et 285 *bis*) montre le chariot W avec le couvercle D ouvert, et l'on peut voir qu'il est prêt à recevoir le produit à recuire, en supposant que la température soit arrivée au degré voulu.

Comme l'indique le dessin, les fours sont ouverts en entier par derrière, pour n'être fermés qu'après l'entrée du chariot. De plus, il y a par devant à chaque four, deux, trois ou quatre trous par lesquels les produits à recuire sont introduits ; c'est également de ce côté du four que sont amenés les canaux à gaz et à air *g* et *l* (fig. 284, 284 *bis*, 285), pour le chauffage du four.

Alternativement un four est toujours de service pour recevoir sur le fond du chariot les produits qui se trouvent dans ce four, tandis que les objets sont rangés debout l'un près de l'autre, ou couchés en trois ou quatre lits l'un sur l'autre sur le fond recouvert de sable du chariot. Lorsqu'après un travail variant de quinze à trente minutes le fond est couvert, c'est-à-dire quand le chariot est

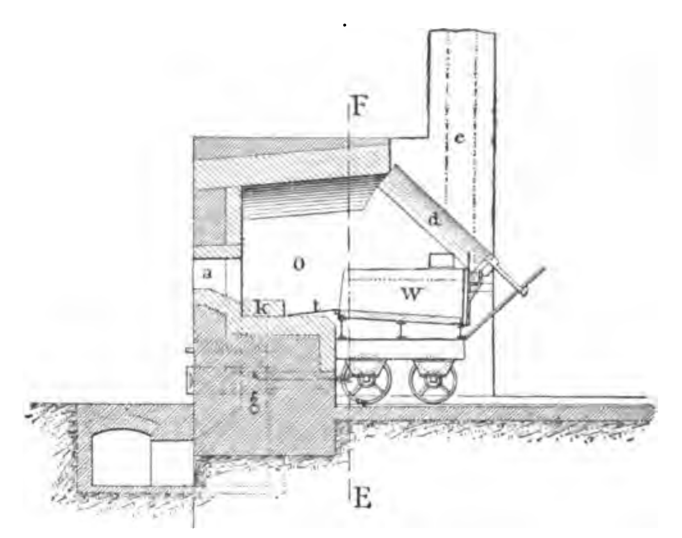


Fig. 284. — Coupe suivant AB.

plein, alors les objets qui viennent d'être fabriqués sont placés de la même façon dans le chariot de l'autre four, tandis qu'on ferme le couvercle du chariot plein et qu'on le protège contre les courants d'air par une couche de sable, afin de le retirer complètement du four après quelques minutes et de le conduire au

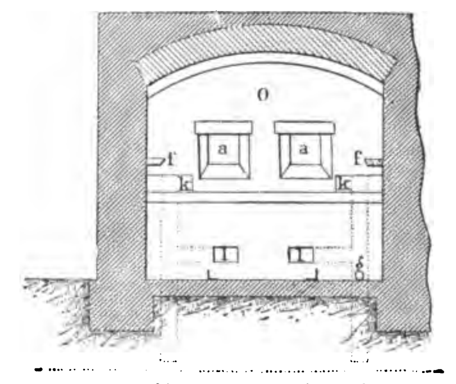


Fig. 284 *bis*. — Coupe suivant CD.

magasin. On introduit ensuite un nouveau chariot froid, on ouvre le couvercle, afin de le faire chauffer suffisamment, jusqu'au moment où l'autre chariot sera rempli de produits, afin de le rendre apte à recevoir sans interruption les produits aussitôt fabriqués, cela très rapidement. Ainsi le travail ne subit jamais

de retard, car aussitôt un chariot plein, un autre chariot chauffé préalablement est tenu prêt dans l'autre four. La seule difficulté est de savoir combien de temps

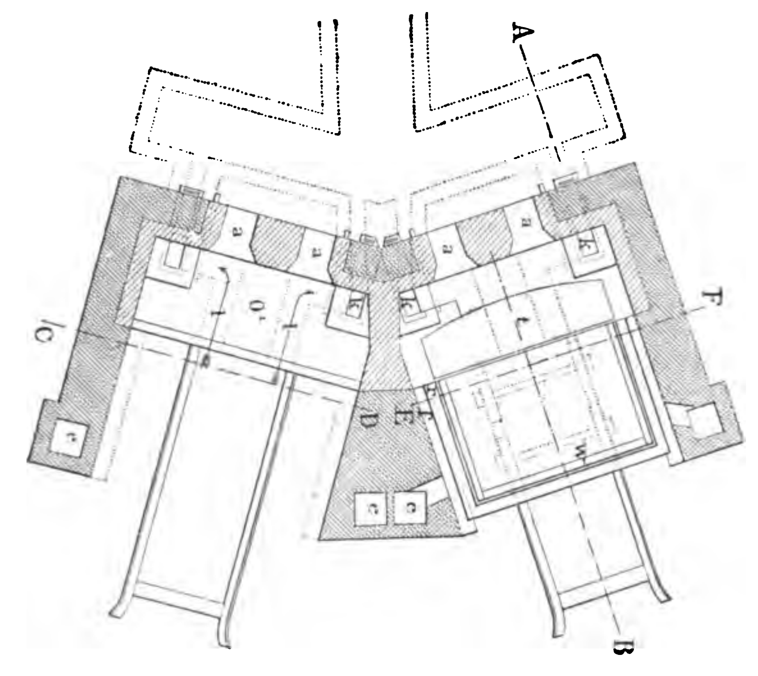


FIG. 285.

il faut aux chariots pour se refroidir dans le magasin, afin de calculer par là le nombre de chariots à employer.

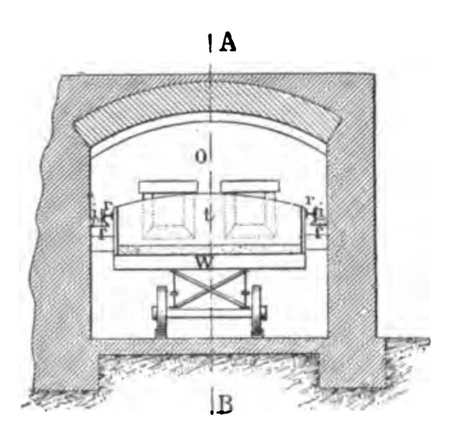


FIG. 285 *bis*. — Coupe suivant EF.

Voici quelle est la disposition des fours :

Les fours O et O′ sont chauffés au moyen des canaux conducteurs de gaz et

d'air *g* et *l*, réglés comme d'habitude, et du canal de combustion vertical K. Les produits de combustion s'échappent par les petites cheminées *e*. Les chariots sont munis d'un fond plat et de parois doubles en tôle, qui se terminent en haut par une double rigole *r*. La rigole supérieure forme la fermeture au sable, entre le couvercle *d*, muni d'un rebord, comme le four O le montre dans les figures 284 et 285. Les ailes *i* de la rigole inférieure forment de leur côté, avec deux tôles *f* solidement maçonnées dans le four, deux fermetures mobiles au sable, de sorte que, aussitôt le chariot entré, le compartiment supérieur du four est entièrement fermé en bas. Le couvercle *d* qui descend dans la fermeture supérieure forme, quand il est ouvert, et comme on l'a déjà vu, la fermeture pour la chambre du four (fig. 284).

Le couvercle *d*, comme on peut le voir, est voûté et muni d'une tôle protectrice, par conséquent double.

Par les ouvertures *a* pratiquées dans le côté de devant de la chambre du four, on range les objets à recuire sur le fond couvert de sable du chariot. Les objets extérieurs ne touchent que la double paroi interne et ne se trouvent par conséquent jamais en contact direct sur aucun point avec la paroi externe qui se refroidit vivement. Après que le fond du chariot est complètement chargé, on descend le couvercle, qui jusque-là avait servi comme voûte du four à l'arrière, dans la fermeture à sable supérieure *r*, et on fait sortir le chariot tout entier du four, pour le mener plus loin, et le soumettre au refroidissement à l'air. Un nouveau chariot froid, avec couvercle, est amené et introduit successivement dans le four ; le couvercle est levé, et par là même la fermeture du four est obtenue par derrière, en même temps que s'opère aussi la séparation de la partie supérieure de la chambre du four d'avec la partie inférieure, au moyen de la fermeture mobile de sable.

Par cet arrangement, on obtient ce résultat que, dans le compartiment supérieur du four, se produit une chaleur intense, qui agit directement sur le fond sablé du chariot et sur les objets à recuire, sans échauffer en même temps la partie inférieure du compartiment du four, de sorte que le chariot proprement dit est constamment protégé contre la combustion. Mais le couvercle lui-même est aussi protégé contre la combustion, parce qu'il n'est point exposé à la chaleur complète dans le four, mais sert de paroi extérieure pour fermer la chambre du four. Afin d'opérer d'une manière parfaite le refroidissement de la chambre inférieure (qui est séparée par la fermeture mobile) et du chariot qui s'y trouve, M. Siemens laisse entrer dans la partie de ce compartiment, ouverte en arrière, l'air qui sert à la combustion du gaz, et qui, comme l'indiquent les flèches dans la figure 285, est conduit vers la partie supérieure du compartiment dans les canaux de combustion *k*.

Comme on peut le voir, d'après le dessin du chariot, la fermeture au sable pour le couvercle n'est faite que sur trois côtés, car le côté de devant se ferme sans sable par une porte en tôle qui se relève. Cette disposition est nécessaire, car elle permet seule de placer les objets en verre sur le fond du chariot.

Une fois le chariot amené dans le four on lève le couvercle *d* et on abaisse la porte en tôle *t*, tandis que pour faire sortir le chariot on lève la porte en tôle *t* et ensuite on ferme le couvercle *d*. Le bord du couvercle *d* tient fermée la

porte *t* dans sa position verticale et ferme aussi le chariot, autrement cependant que le sable, sur les trois autres côtés.

Mais, comme les produits ne touchent que les trois côtés fermés du chariot, tandis que par devant il reste toujours un espace vide, on comprend que de ce côté il n'est pas nécessaire d'avoir une fermeture parfaite ni une double paroi en tôle.

Les mêmes chariots qui reçoivent le verre dans le four peuvent encore servir à transporter ce verre dans toutes les parties de la fabrique. Aussi peut-on en conclure qu'on épargnera beaucoup de main-d'œuvre et beaucoup de casse.

Tels sont les avantages de cette nouvelle disposition des fours à recuire :

1° Il peut se produire une très haute température dans le four sans qu'il en résulte une torsion ou un aplatissement des produits, et cela parce que les objets placés debout en un seul lit, ou posés les uns sur les autres en peu de couches, ne restent que peu de temps exposés à la chaleur.

2° Il en résulte un refroidissement rapide, de sorte que les produits peuvent être expédiés après deux ou trois heures. Le contrôle en est plus facile, car dans l'ancien procédé les produits restaient trois à quatre jours dans le four avant de pouvoir en être retirés, etc.

3° On obtient un degré beaucoup plus élevé de solidité dans le verre par ce refroidissement rapide et gradué, succédant à une température initiale élevée.

4° Les installations prennent peu de place, coûtent peu à monter et à mettre en œuvre.

5° Les chariots refroidisseurs ne se consument pas et on peut les construire de manière à remplacer les voitures spéciales de transport, éviter les déraillements et la casse.

Les chariots indiqués dès l'abord, de même que les pots et les cornues transportables, que l'on fait mouvoir dans un four-canal, à la façon d'un train de chemin de fer, devraient donner de bons résultats s'ils étaient munis de couvercles impénétrables à l'air et maintenus froids à leur partie inférieure et aussi dans l'emploi de plus hautes températures s'ils pouvaient n'y pas brûler.

CHAPITRE III

VERRE A PIVETTE. — GOBELETTERIE. — VERRE DEMI-BLANC CREUX

Verre à pivette. — Le verre à pivette est employé pour la confection des fioles à médecine, des vases de laboratoires, des objets communs. Ce verre est moins fusible que le verre ordinaire.

On fait entrer dans sa préparation des sables ferrugineux. La présence du fer donne à ce verre la teinte verdâtre qui lui est propre. La composition, assez variable, se rapproche de celle du verre à bouteilles. L'oxygène de la silice et

l'oxygène des bases s'y trouvent dans les rapports suivants : 6 : 1 — 5 : 1 — 7 : 2 — 3 : 1.

Verre blanc. — Ce verre se distingue du précédent par une plus grande pureté des matières premières et par une moindre coloration. Les matières premières employées, le calcin, sont choisis et on emploie souvent des sels de potasse ajoutés aux compositions ordinaires, à l'état de carbonate de potasse

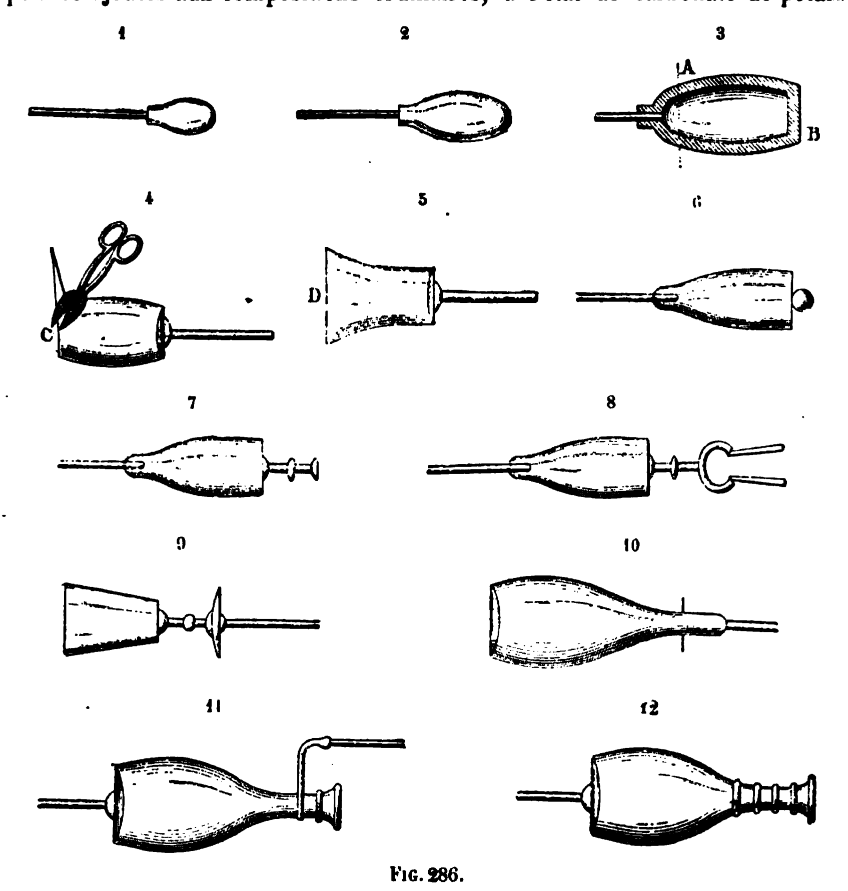


Fig. 286.

(voy. au chapitre des verres moulés ce que nous décrivons au sujet du demi-cristal). On emploie en outre, comme décolorants, le peroxyde de manganèse, l'oxyde de cobalt.

Guhrauer recommande, pour obtenir un verre blanc fabriqué avec le sulfate de soude, de fondre d'abord les matières premières et ayant obtenu un verre de première fusion (calcin), de l'étonner, puis de le faire fondre de nouveau en y ajoutant cette fois le peroxyde de manganèse ou les autres décolorants.

Il faut entourer de plus de soins les opérations de fusion, et autres, du verre de gobeletterie que les mêmes opérations du verre à bouteilles, par exemple.

En nous occupant des verres moulés nous donnons la composition des verres blancs et du demi-cristal; ne voulant pas nous répéter, nous renvoyons le lecteur à ce que nous avons écrit à ce sujet.

La gobeletterie a une très grande importance commerciale; cette fabrication est même plus importante que celle du cristal. Le verre demi-blanc a été éliminé dans beaucoup de cas et remplacé par le verre blanc. En traitant la fabrication du cristal nous serons appelé à citer les outils, la manière de faire, soufflage ou moulage du cristal, il est donc inutile de décrire ici d'une manière étendue la façon d'opérer pour obtenir un verre à boire, par exemple, façon indiquée sommairement par les figures ci-dessus, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (fig. 286).

Les figures 6, 7, 8, 9 indiquent les phases de la fabrication d'un verre à vin.

Les figures 10, 11, 12, la fabrication d'une carafe.

Nous avons entendu émettre bien souvent, dans les laboratoires, des plaintes relatives au peu de résistance des tubes en verre, de leur peu de recuit, plaintes formulées principalement contre les verres français, comparativement aux verres allemands. Les verres allemands sont des verres à base de potasse, tandis que généralement les verres français sont à base de soude; les premiers sont plus réfractaires, plus facile à recuire, de là vient pour nous la différence entre ces deux produits.

Tubes en verre. — Pour la fabrication de ces tubes en verre, l'ouvrier verrier prend avec la canne, en une ou plusieurs fois, la quantité de verre nécessaire et la souffle de façon à l'amener d'abord à la forme de poire, à parois épaisses (fig. 13), destinée à produire un tube en l'étirant. Pendant cette manipulation un autre verrier a puisé, à l'aide du manche en fer B, un peu de verre dont il a formé une boule qu'il soude à la partie inférieure de la poire (fig. 286). Puis les deux ouvriers s'éloignent l'un de l'autre, faisant tourner d'un mouvement uniforme et rapide leurs outils, canne et manche, cela jusqu'à ce que le tube ait atteint la longueur voulue et l'épaisseur uniforme et proportionnelle. Ce

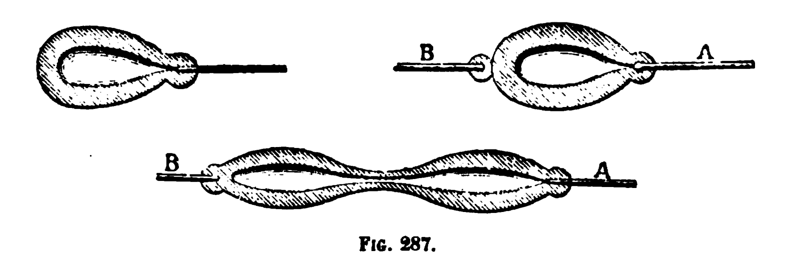


FIG. 287.

tube, flexible à cause de la température du verre, se courbe d'abord sous son poids, aussi le redresse-t-on en le posant sur les planchettes disposée sur le sol à cet effet. Ces tubes présentent généralement une grande égalité de diamètre, de parois, sauf aux deux extrémités. Pendant que le verre est encore chaud, on le partage en morceaux de différentes longueurs, cela à l'aide d'un fer froid appliqué aux endroits à diviser, puis on porte ces morceaux au four à recuire, opération qui demande de grands soins.

Ces tubes doivent être fabriqués en verre très dur, siliceux et contenant une assez forte proportion de chaux.

La planche XXIV rend compte de cette fabrication.

Pour les thermomètres, on fait également des tubes à *trou plat* afin de rendre les lectures plus faciles. Pour la fabrication de ces tubes, voici comment on opère : après avoir soufflé la paraison, on l'aplatit sur le marbre, et on la laisse refroidir. On la recouvre ensuite d'un nouveau cueillage qu'on arrondit. Le verre intérieur restant relativement froid, le trou reste plat pendant ce travail.

On fait ensuite la tirée des tubes dont la section vide intérieure ne se modifie pas comme forme.

CHAPITRE IV

VERRE DE BOHÊME

A la suite de l'Exposition de l'industrie autrichienne, ouverte à Vienne le 15 mai 1845, M. Eug. Peligot adressa aux membres de la Chambre de commerce de Paris un remarquable rapport sur diverses industries qu'il avait été chargé d'étudier et entre autres sur l'industrie du verre en Bohême.

Ce rapport a, depuis cette époque, servi de base à tout ce qui a été écrit en France sur cette industrie spéciale.

Les innovations ont jusqu'ici pénétré bien lentement en Bohême, en Hongrie, et, à part quelques changements dans certains fours de fusion, à part quelques modifications peu importantes dans les chiffres de production, dans les salaires, il y a encore beaucoup d'exactitude actuellement, dans ce qu'écrivait M. Peligot en 1846.

Albert Ilg, dans son *Histoire de la verrerie* rapporte qu'à la fin du quatorzième siècle on ne connaissait à Vienne que les verriers italiens. On fabriquait, dans la forêt de Vienne, quelques produits très ordinaires et d'un verre vert très foncé. C'est vers la fin du quinzième siècle que le Vénitien Nicolo, surnommé Walsch, obtint du magistrat de Vienne le privilège d'établir, pendant dix ans, dans un faubourg de Vienne, *Verre digeraw* (aujourd'hui le Prater), une verrerie à la façon de Venise.

En Bavière, sous le duc Albrecht V (1550-1579), on construisit une verrerie du même genre.

L'origine des verreries de Bohême proprement dites, dans lesquelles la roue du tailleur ou graveur joue un rôle capital, date de 1442 à 1504; cette industrie se généralisa à Falkenau, Kuibitz et Steinschonau. En 1680, le peintre verrier Kreylich commence à colporter le verre de Bohême et introduit ce produit sur les marchés les plus éloignés du centre de production, à Moscou, Constantinople, en Espagne, dans les Pays-Bas, et par ce fait le verre de Bohême acquit une réputation universelle.

L'établissement de verreries dans les forêts de Bohême était un moyen d'exploiter ces bois.

Il existe encore certaines verreries, mobiles en quelque sorte, que l'on déplace au fur et à mesure de l'exploitation des forêts, mais ce sont de petites verreries, où l'on ne fait que du verre brut, lequel est ensuite livré aux « raffineurs ». Les verreries qui possèdent des ateliers de taille ou des ateliers de décoration sont stables, et presque toutes établies auprès de chutes d'eau. Ces usines sont construites en bois, et d'une façon toute primitive. Le combustible employé pour les verreries fines est le bois, et ce combustible est amené aux verreries éloignées des forêts, au moment des crues des rivières ou cours d'eau, par trains flottants.

Dans ces contrées, la main-d'œuvre est peu élevée. Une place de verrier se compose de trois personnes : un maître, un homme et un gamin ; ces trois personnes gagnent rarement plus de 200 francs par mois. Les tailleurs, sauf cependant les graveurs artistes, ont un salaire encore moins élevé ; certains d'entre eux gagnent 2 francs à 2 fr. 50 par jour (40 à 60 kreutzers).

Il est difficile d'établir un prix de revient d'ensemble et dans des proportions normales. Pour le verre blanc les chiffres ci-dessous peuvent être considérés comme un terme moyen aussi exact que possible :

Matières premières	30 %
Combustible	15
Administration	5
Fours, accessoires, appareils	5
Main-d'œuvre (verriers)	25
Taille et décoration	20

Le verre fin de Bohême ne contient pas de plomb ; on n'emploie le minium que pour obtenir certains verres de couleur et dans ce cas en petites proportions, tandis que le cristal français en contient 30 à 35 pour 100.

Pour cette raison le verre de Bohême est plus dur à fondre et à tailler que le cristal français, mais il reçoit et conserve un plus beau poli.

La qualité *incolore* du verre de Bohême tient aux soins extrêmes que prennent les fabricants pour choisir leurs matières premières ; le cristal est cependant plus blanc et à épaisseurs de tailles semblables plus brillant que le verre de Bohême.

Les verres de Bohême ont la propriété bien reconnue de jaunir légèrement par leur exposition à la lumière, aussi les marchands les conservent-ils généralement bien enveloppés et souvent même dans l'obscurité. Cette coloration est très visible dans les vitraux d'Allemagne et nous l'avons constatée à Munich.

Les fours les plus usités en Bohême sont encore les fours ovales à six ou huit creusets ouverts, contenant 60 à 100 kilogrammes de verre. Depuis une dizaine d'années on a adopté dans les principaux établissements le four Siemens à huit et dix creusets, d'une capacité de 150 kilogrammes. Pour le chauffage de ces fours à gaz on utilise les déchets de bois et la tourbe.

La recuisson s'obtient dans des pots en argile ou en tôle et dans un four annexé au four de fusion.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, on ne fait pas en Bohême de cristal à base de plomb ; le verre fin, appelé également cristal, est formé de :

Quartz.................	100	parties.
Carbonate de potasse....	30	—
Calcaire..............	15	—

La limpidité de ce cristal est due à l'excellente qualité du quartz, soigneusement trié, brûlé, étonné et pilé. Actuellement on emploie du sable quartzeux de la province de Brandebourg qui s'exporte jusqu'en Slavonie. Ce sable coûte 30 francs les 1000 kilogrammes. Le verre de Bohême est donc un silicate double de potasse et de chaux, dans lequel l'oxygène de l'acide est à l'oxygène des bases comme 6 à 1. Sa formule est $CaO\,2\,SiO^3$, $KO\,2\,SiO^3$. Pendant longtemps les Bohêmes avaient une grande supériorité sur les autres peuples d'Europe, pour la fabrication des verres colorés ; aujourd'hui il n'en est plus de même et nos fabricants n'ont plus rien à envier à la Bohême.

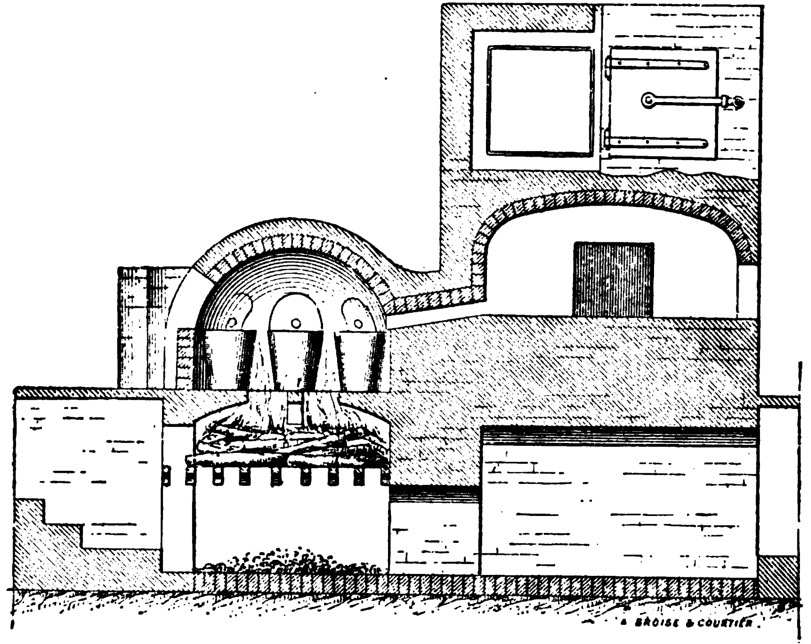


Fig. 288.

Certaines verreries de Bohême ont la spécialité de la fabrication des verres de couleur, principalement des verres rouges, roses ou rubis. Ces verres sont vendus sous forme de douilles ou baguettes.

Ces verres doivent être réchauffés avant d'être employés, leur coloration ne se manifestant qu'après le réchauffage (1).

(1) Cette propriété est commune à tous les verres rouges à l'or.

Dans les fours indiqués ci-dessus la fusion des matières vitrifiables dure environ sept heures, l'affinage cinq heures, le soufflage dix heures, puis deux heures pour refroidir le verre, et réchauffer le four après le travail. La production d'un four en Bohême est bien inférieure à celle d'un four du même nombre de creusets en France. Depuis l'introduction du four Siemens la durée des fontes est très réduite. On fond en douze à quatorze heures les matières contenues dans des creusets de 60 à 75 kilogrammes.

Les Bohèmes économisent le verre avec une habileté surprenante. Pour le cueillir, une canne, ordinairement très légère, est introduite dans le creuset, par l'ouvreau devant lequel se trouve le creuset qui sert au travail de l'*atelier*. Chaque atelier ne se compose que d'un souffleur et de son aide. L'outillage en est des plus simples. Plusieurs cannes et tiges de fer pleines ; une auge contenant de l'eau pour refroidir le verre, avec une sorte de fourche fixée à l'une de ses parois ; une plaque de fonte (*marbre*) qui sert à parer le verre ; une autre auge qui reçoit les débris de verre ; une palette en bois dont une surface est concave et qui, étant mouillée, sert à arrondir le verre ; de grossiers ciseaux à longues branches, destinés à découper les bords des pièces façonnées ; quelques pinces et compas en fer ou en bois : tels sont, avec les moules en bois, (hêtre ou poirier), en métal ou en terre, les outils qui, dans les verreries de Bohême comme dans les cristalleries, servent à façonner tous les objets de gobeletterie aussi variés par leurs formes que par leurs usages.

Le verre étant cueilli et paré, le souffleur forme d'abord une boule épaisse qu'il arrondit, puis allonge, en promenant à sa surface un morceau de bois mouillé, pendant qu'il imprime à sa canne un lent mouvement de rotation. Il réchauffe sa pièce, puis il l'introduit dans un moule creux en bois, à deux compartiments séparés, que l'aide rapproche aussitôt ; il souffle fortement et donne ainsi à la pièce sa forme et sa dimension. L'emploi des moules en bois, qui est dû aux Bohêmes, est aujourd'hui répandu dans toutes les verreries. Ils ont le grand avantage de ne pas rayer le verre. On les remplace quelquefois par des moules en terre qui s'usent moins rapidement. Quand on se sert de ces derniers, on les saupoudre intérieurement de résine en poudre, laquelle produit, en s'enflammant, une couche de charbon et une atmosphère de gaz qui neutralise l'effet que produiraient les petites aspérités du moule.

Pour faire, par exemple, une chope à bière, la pièce, en sortant du moule en bois à deux compartiments, présente une forme qui se rapproche de celle d'une carafe. En refroidissant avec un fer le mors de la canne à laquelle elle adhère, celle-ci se trouve séparée. On enlève la calotte du verre en le tournant pendant quelques instants, suivant la même ligne, sur une barre épaisse de fer rougi, l'ouvrier touche alors avec son doigt mouillé l'un des points chauffés ; il se produit une fente circulaire qui amène la chute de la calotte supérieure.

La chope est recuite et ses bords sont usés à la roue du tailleur. Ces bords sont l'un des caractères particuliers aux verres de Bohême ; ils sont à arêtes vives, moins solides que ceux qui sont arrondis au feu, ainsi qu'on le fait dans nos verreries ; mais cette manière de travailler, qui dispense d'*empontir* les pièces, économise tellement la matière vitreuse, qu'on assure que le verre qui n'entre pas dans les pièces de gobeletterie, ne représente que le quart du verre

fondu, tandis que, pour le cristal, il s'élève à plus de moitié de la matière mise en œuvre. Ce groisil sert, comme on sait, pour les fontes ultérieures, qu'il rend plus faciles. Les verres minces, dans les usines bien dirigées, sont aujourd'hui décalottés à la roue, et ensuite rebrunis au four, les bords sont arrondis au feu.

On a longtemps reproché aux objets fabriqués en Bohême le manque de symétrie, de parité, entre les diverses pièces d'un même service par exemple. Sous ce rapport on a fait de grands progrès; les usines de Schreibr et neveux livrent des services de table dont les pièces sont entre elles absolument semblables.

Les fabricants français avaient une grande supériorité sur les Bohêmes pour le moulage; là encore l'industrie de Bohême a progressé, et les moules en fonte américains, qui ont donné en Amérique de si bons résultats, ont été employés avec grand avantage en Bohême.

La taille du verre en Bohême est tout à fait remarquable; elle a un éclat, un fini qui ne laisse rien à désirer. On sait combien est grande l'habileté de leurs graveurs (fig. 289).



Fig. 289.

Le décor des verreries de luxe est sobre et d'un goût parfait, les décors en couleur de moufle, que le verre de Bohême supporte mieux que le cristal sont employés avec beaucoup d'habileté; leur dorure est fort belle, et il en est de même pour leur argenture mate, brunie et à reliefs, que l'on imite du reste en France depuis quelques années, et qui, employée différemment de celle de Bohême, produit néanmoins de jolis effets.

Les gravures à la roue ou à l'acide, les peintures, les dorures sont pour la plupart faites à Hayda, Steinschonau et plusieurs autres villages de cette contrée qui sont formés d'une population de plus de 25 000 ouvriers peintres, graveurs, etc., exclusivement attachés à ces branches de la verrerie.

Dans ce centre tout à fait industriel il y a des écoles spéciales et c'est de ce centre spécial que les fabricants qui font eux-mêmes le décor, la peinture, etc., tirent les artistes qui leur sont nécessaires.

Nous devons mentionner un certain nombre de verreries qui, aux environs de Gablonz, fondent en très petites quantités (creusets d'une contenance de 40 à 50 kilogrammes) un verre à base de plomb, verre blanc ou de couleur, connu sous le nom de *strass* (de Johann Strasser, de Vienne, 1780), que l'on emploie pour les imitations de pierres précieuses.

Une des industries les plus intéressantes de la Bohême, à cause de la variété de ces articles et en raison de leur prix incroyable de modicité, c'est la fabrication des perles de verre, de lustrerie, de pierres artificielles desquelles nous venons de dire quelques mots ci-dessus.

Trois verreries alimentent la contrée de Gablonz où se trouvent concentrés environ cinq mille ouvriers, occupés au soufflage du verre, à la taille, au polissage des perles, des flacons, à la dorure et à la décoration de ces objets. Les ouvriers qui travaillent à la taille des perles et des objets de lustrerie, formant environ les trois quarts de cette population, sont disséminés dans les vallées de Wisental, d'Oberwisental et logés dans de petites habitations servant d'ateliers à toute une famille qui travaille en commun. Ces habitations sont toutes à proximité d'un cours d'eau qui met en mouvement une roue à augets. Un arbre de couche, placé au-dessous du rez-de-chaussée, porte un certain nombre de poulies sur lesquelles sont enroulées des cordes donnant le mouvement à travers le plancher à des tours placés dans une chambre servant d'atelier et d'habitation à toute la famille. Des enfants de cinq à six ans sont occupés à ce travail d'usure, qui demande peu de force et produit des résultats si remarquables comme aspect. Les hommes gagnent ainsi de 0 fr. 90 à 1 fr. 30 et les enfants de 30 à 50 centimes.

Depuis la rétrocession de la Vénétie à l'Italie par l'Autriche, la fabrication des perles et autres menus objets de verroterie a beaucoup diminué en Bohême et par contre cette industrie a repris plus d'extension à Venise-Murano. C'est ce qui nous amène à parler plus loin de la verrerie vénitienne actuelle.

Il nous a été donné de visiter les magasins de M. Lobmeyr, de Vienne, après avoir visité certaines parties de la Bohême, comme nous avons ensuite visité Venise et Murano. Autant les produits actuels de la verrerie vénitienne nous ont causé une impression peu agréable à cause de leurs décorations excessives, surchargées, même pour les pièces de petites dimensions, autant nous avons été choqués de la diversité ou des oppositions heurtées des ornementations des verroteries de Venise, autant nous avons admiré les formes, l'harmonie des couleurs de tous les objets, presque tous artistiques, des verreries de Bohême, principalement des verreries de M. Neveu Meyr, d'Adolf, qui sont taillées, ornées, à Vienne, sous la direction artistique de MM. J. et L. Lobmeyr. Nos lecteurs se souviennent certainement des magnifiques produits de l'expo-

sition de MM. Lobmeyr, dans la section autrichienne de l'Exposition internationale de 1878. C'est chez M. Lobmeyr que l'on a commencé la fabrication du verre irisé. La composition normale du verre blanc de Bohême fabriqué chez M. Neveu Meyr, d'Adolf, est :

Sable	20
Potasse raffinée	24
Minium	4
Chaux	12

MM. Lobmeyr, par leurs travaux assidus, ont fait faire d'immenses progrès à l'industrie de Bohême, ils ont entre autres choses attiré à grands frais des artistes de tous pays et les résultats obtenus sont la juste récompense d'efforts aussi intelligents que persévérants. On consultera avec intérêt l'ouvrage de M. L. Lobmeyr, sur la verrerie de Bohême : *Die Glasindustrie, Ihre Geschichte, gegenwärtige entwicklung und Statistik* (Stuttgart, Spemann, 1874) ; puis celui du docteur C. Schebek : *Bohmens Glasindustrie et und Glashandee*, publié à Prague par la Chambre de commerce (1878).

Il existe également en Prusse et en Bavière des fabriques de verre de Bohême, près de Liegnitz, près de la crête des montagnes qui séparent la Bohême de la Silésie : par exemple la verrerie de Jasephinenhütte ; et en Bavière, au pied des montagnes qui séparent la Bavière de la Bohême, la verrerie de Theresienthal, très renommée pour la supériorité de ses produits.

On fabrique également du verre à vitres en Bohême. La fabrication des glaces soufflées y est encore en honneur, ce verre à glaces est travaillé et étamé en Bavière (Fürth). Ces glaces sont destinées à l'exportation. Les autres glaces sont importées en Autriche, d'Allemagne, de Belgique et d'Angleterre. Néanmoins les baisses successives des prix de vente des glaces coulées rend la fabrication de ces glaces soufflées de moins en moins importante.

LIVRE NEUVIÈME

VERRE MOULÉ

Les Égyptiens pratiquaient le moulage du verre ; les Romains, qui tenaient des Égyptiens leurs procédés de fabrication, moulaient également le verre ; nous avons constaté le fait à Pompéi dans l'examen des vitres retrouvées à la maison de Diomède et à celle de « l'Empereur ».

Ce fut en 1810 que l'usage du moulage se répandit en Angleterre, principalement pour la fabrication des objets plats, comme assiettes, soucoupes, bobèches, etc. Depuis, ces procédés de moulage furent importés en Amérique où ils furent très perfectionnés.

En 1830, cette industrie se développa beaucoup en France, l'Autriche adopta aussi cette manière de faire et, dès 1836, M. J. Lobmeyr entreprit cette fabrication à Marienthal.

Le moulage dans le métal présente certains inconvénients ; par suite de son contact avec des surfaces métalliques, à une température différente de la sienne, le verre présente des surfaces souvent rugueuses, ou tout au moins n'ayant pas le poli naturel au verre moulé, et par conséquent réchauffé, dans le bois.

Pour masquer ces imperfections on a imaginé de graver dans certaines parties des moules des dessins, qui donnent aux verres, ainsi fabriqués, une certaine apparence de reliefs, une sorte de taille grossière en un mot. Les dessins qui donnent au verre moulé l'aspect le plus satisfaisant sont les imitations de tailles en brillants (fig. 292), les dessins guillochés (fig. 290, 291). Depuis, on a même dépoli la surface de ces verres, soit à la roue, soit à l'acide, et on a produit ainsi des verres, dont la pâte incolore, les dessins ou reliefs moulés, imitant la taille, ont fait donner à ces verres le nom de demi-cristal.

En Amérique, les fabricants s'attachent à produire un verre très blanc et apportent le plus grand soin au choix des matières premières. Le carbonate de soude employé est actuellement le carbonate de soude obtenu par le procédé de conversion du sel marin en bicarbonate d'ammoniaque et en carbonate de soude.

Les moules dont on se sert en Amérique sont en fonte dure spéciale, d'un ajustage, d'une fabrication très remarquables ; aussi les objets moulés sont-ils d'une netteté, d'une légèreté, d'un relief des plus satisfaisants.

Certains fabricants taillent même, ou plutôt donnent par la taille, le *fini*

nécessaire aux pièces les plus soignées, qui souvent sont vendues comme pièces de cristal.

On fabrique aussi beaucoup en Amérique des objets en verre blanc opaque, imitant la porcelaine, tels que lampes à pétrole, salières, soucoupes pour le beurre, etc.

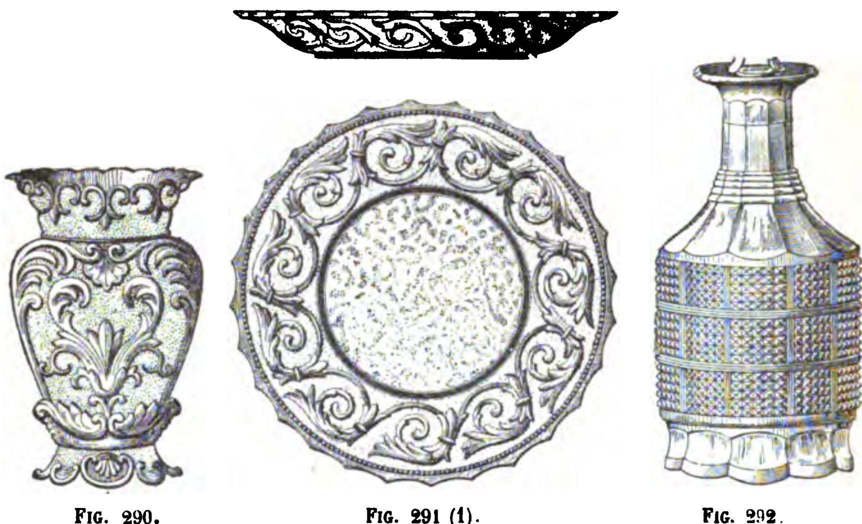


Fig. 290. Fig. 291 (1). Fig. 292.

Ce verre, particulier comme propriétés, ne pourrait du reste pas être soufflé.

Voici la composition du verre transparent, et celle du verre opaque de fabrication américaine :

	Verre transparent.	Verre opaque.
Sable	63,02	67,20
Carbonate de soude	23,11	»
Nitrate de soude	5,05	»
Chaux	8,40	»
Arsenic	0,33	0,36
Manganèse	0,09	0,18
Soufre	traces	»
Cryolithe	»	26,88
Oxyde de zinc	»	5,38
	100,00	100,00

La plupart des verreries américaines travaillent le verre dans de petits fours spéciaux chauffés par les huiles légères ou essences de pétrole.

Ces fours ont environ 6 pieds de diamètre, 12 pieds de haut ; les parois sont

(1) Les figures 290, 291, 292, sont extraites du *Guide du Verrier* de M. . Bontemps, librairie du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, 40, rue Madame.

percées de trous de différents diamètres qui correspondent aux dimensions des différentes pièces qui y sont introduites et recuites. L'essence est amenée par un tuyau spécial, par une tôle, suivant la sole du four, elle y brûle à l'aide d'un courant d'air injecté à cet effet à l'entrée de la sole.

En Belgique, en France, on fabrique également du verre blanc, soufflé et moulé, appelé demi-cristal. Les verreries de Walerhystaal et de Portieux fabriquent également du verre blanc et du demi-cristal.

La composition de ce verre blanc est :

Sable	300
Carbonate de soude pur	72
Potasse carbonatée	25
Chaux	80
Calcaire	200
Nitrate de soude,	5
Peroxyde de manganèse	1,5
Oxyde de cobalt	0,017

Pour le demi-cristal la composition est la même, on ajoute seulement un peu de minium.

Voici deux autres compositions qui ont été données au jury de la classe de la verrerie à l'Exposition de 1878 :

	Demi-cristal.	Verre blanc commun.
Sable	48	36
Carbonate de soude (Solvay)	12	12
Carbonate de potasse	4	»
Calcaire	12	10
Calcin	24	42
	100	100

Voici également la composition d'un verre, qui, présenté au jury spécial à la classe de la verrerie à l'Exposition de 1878, avait frappé plusieurs membres de ce jury par sa blancheur; ce verre (bouchon de carafe) nous a donné à l'analyse :

Silice	70,40
Potasse	8,66
Soude	9,13
Chaux	10,00
Alumine	0,99
Peroxyde de fer	0,02
Peroxyde de manganèse	0,50
	99,70

Les moules employés pour ces fabrications sont en fonte ou en bois; les moules en fonte sont enduits à l'intérieur d'un peu de plombagine afin d'éviter le *glaçage* des pièces moulées. La taille de ces pièces se fait à l'aide de la roue, ou à l'acide.

A Portieux un sixième de la fabrication est obtenu dans des fours Boëtius

contenant des pots couverts, cinq sixièmes dans des fours Siemens à pots découverts (1). Pour donner une idée de l'importance de cette fabrication, nous dirons qu'en 1880 on a fabriqué et vendu à Walerhystal 1 904 000 kilogrammes de verre blanc, demi-cristal, cristal, pour la somme de 1 562 000 francs. Dans ces chiffres sont compris 90 à 95 000 kilogrammes de verre pour verres de montres.

Pour obtenir le moulage de certaines pièces de verre (ou de cristal), on emploie aussi un poinçon à levier qui, pénétrant dans la masse de verre chaud, y séjournant un certain temps, oblige le verre à prendre la forme du moule qui l'environne (fig. 293).

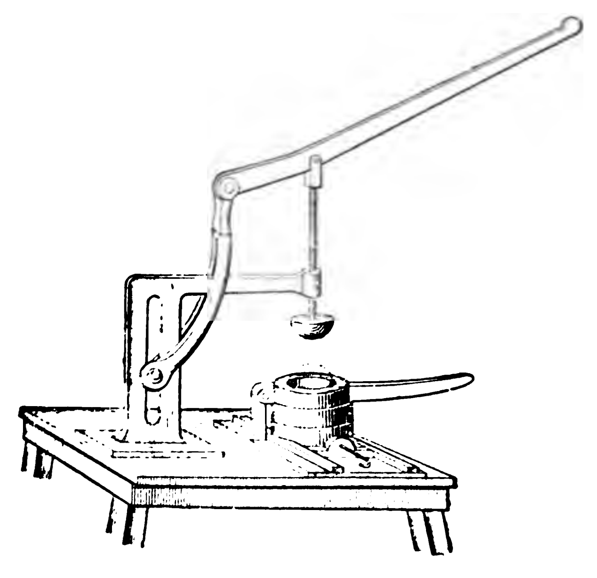


Fig. 293.

Cette manière d'opérer à un inconvénient : elle limite la forme des objets moulés. En effet, la nécessité d'enlever le poinçon, une fois la compression du verre obtenue, force à mouler ainsi des pièces dont le diamètre intérieur reste toujours le même ou bien augmente progressivement vers le haut de la pièce. Aussi ce procédé est-il généralement employé pour le moulage des pièces plates ou pour les menus objets.

Par le moulage on a encore l'avantage d'obtenir des verres de capacités régulières.

MM. Chance, dont on retrouve le nom à chaque tentative d'applications nouvelles en verrerie, ont essayé également la compression du verre (verres basaltiques, notamment), pour en obtenir des tuyaux, destinés à remplacer les conduites d'eau, de gaz, etc. Dans le même ordre d'idées nous signalons le procédé Sievert qui consiste à fabriquer les tuyaux en verre par soudure de deux demi-cylindres. Depuis peu la question a été reprise par M. Appert, dont les efforts ont été couronnés de succès. Nous allons décrire avec

(1) A Portieux on compte 1k,600 de charbon dépensé par kilog. de verre livré au commerce

quelques détails le procédé qu'il a préconisé et mis en œuvre à Saint-Gobain pour la fabrication d'objets moulés les plus divers, tuyaux en verre de toutes dimensions, réservoirs de formes variées, bacs pour accumulateurs.

Tous les procédés de mise en œuvre du verre sont basés sur l'utilisation des propriétés de plasticité, de malléabilité que possède le verre, lorsqu'il est porté à une température suffisamment élevée.

En effet, soit qu'on emploie le procédé du soufflage, le plus anciennement connu et pratiqué, et au moyen duquel on rend au verre, par des réchauffages successifs, la plasticité qui lui est nécessaire et qu'il perd progressivement à chaque instant par son refroidissement, soit qu'on emploie le procédé du moulage dans lequel on utilise la chaleur accumulée dans le verre sortant du creuset en lui imprimant d'une façon instantanée sa forme définitive, c'est toujours à cette propriété précieuse de malléabilité qu'on a recours.

Le procédé de moulage ordinaire a l'inconvénient d'emprisonner le verre qui a été versé dans le moule entre deux surfaces métalliques relativement froides : la face intérieure du moule et la face extérieure du noyau, et en le refroidissant d'amener très rapidement la suppression de sa plasticité, rendant ainsi inefficace toute action mécanique quelles qu'en soient l'énergie et la rapidité d'application.

La caractéristique du procédé nouveau imaginé par M. Appert, consiste :

1° A n'effectuer le moulage que successivement, en n'agissant, à chaque instant, que sur une surface aussi limitée que possible;

2° A disposer les appareils de façon à conserver au verre sortant du four de fusion la chaleur qui a été communiquée, de façon à agir pendant toute la durée de l'opération sur du verre à même température, et, par suite, dans le même état de malléabilité.

Voici comment on procède : on emploie un moule métallique d'épaisseur suffisante, armé de nervures destinées à empêcher la déformation. Ce moule s'ouvre en deux parties juxtaposées sur la hauteur, et en deux ou trois parties sur la largeur, au moyen de charnières. La partie inférieure du moule étant fermée, sa capacité doit être telle que, étant remplie, elle contienne la quantité de verre nécessaire pour faire l'ensemble de la pièce. Le moule, ouvert à ses deux extrémités, pour les pièces ouvertes elles-mêmes des deux bouts, est obturé à sa partie inférieure, au moment du moulage, par un noyau conique d'un diamètre inférieur à celui du moule, de façon à former l'épaisseur de la pièce.

On verse le verre dans le moule, on en ferme la partie supérieure, laissée ouverte jusque-là, et on imprime avec la vitesse voulue un mouvement d'ascension au noyau, qui, pour cela, est monté sur une tige en fer ou en fonte tournée qui la guide dans l'axe du moule.

Ce mouvement est produit par un moyen mécanique quelconque, par de l'air ou de l'eau sous pression, ou de la vapeur.

La durée du moulage est extrêmement courte, et varie suivant la nature du verre et la dimension des pièces.

S'il y a excédent de verre, il est refoulé au dehors du moule, et reste en

masse refroidie sur le noyau qu'on continue à faire monter, et qu'on a le soin de faire émerger en dehors et au-dessus du moule; il est alors séparé de la pièce fabriquée par un étirage qui se produit au moment du passage du noyau dans une bague de diamètre un peu supérieur, ajoutée sur le moule, quand celui-ci a été fermé. Le noyau est immobilisé et séparé de la tige qui le porte par une sorte de verrou; la tige seule redescend dans l'intérieur de la pièce, définitivement terminée, d'un mouvement rapide, de façon à permettre le démoulage.

A chaque opération, le noyau chaud est remplacé par un noyau froid de mêmes dimensions.

Pour obtenir des pièces égales d'épaisseur, et égales entre elles, il est nécessaire que les conditions, dans lesquelles s'opère le moulage, soient identiques; c'est ce qui arrive, en effet, puisque, étant admis que le verre puisé dans le four est à la même température — le moule lui-même reste dans un état d'équilibre sensiblement constant — puisque le noyau, qui est renouvelé à chaque opération est toujours froid, et que la vitesse d'ascension du noyau est toujours la même. Quand la pièce est fermée d'un bout, le noyau est de forme tronconique ou en forme de pyramide tronquée, pour permettre le démoulage, quand l'opération est terminée. Le fond en est refroidi par un courant d'eau circulant intérieurement.

Il est à remarquer que, dans ce procédé, le moulage se produit non par le noyau métallique lui-même, mais par un noyau en verre qui se forme instantanément sur le noyau métallique au moment où le verre est versé dans le moule. Suivant donc l'état de malléabilité du verre, et la rapidité avec laquelle sa composition lui permettra de se refroidir; ce noyau artificiel sera d'un diamètre plus ou moins grand, suivant l'épaisseur à donner à la pièce.

Une des conséquences de la formation de ce noyau artificiel, c'est que l'intérieur des pièces moulées est lisse et poli et qu'il ne porte aucune trace du noyau qui l'a formé. Le dehors de la pièce moulée, au contraire, épouse toutes les formes et les dessins en creux ou en relief qui ont pu être tracés sur la partie intérieure du moule; aussi, quand ces pièces sont des tubes ou des tuyaux, sont-elles très propres à faciliter l'écoulement des fluides ou des liquides en réduisant au minimum les pertes de charge.

Le verre employé pour la fabrication des glaces répond fort bien aux besoins de cette fabrication, sa fluidité est grande, sa malléabilité suffisante et son refroidissement rapide; sa grande résistance à l'action des agents de toute nature ne fait qu'augmenter ses qualités.

Le procédé Appert n'exige pas d'ouvriers spéciaux, aussi est-il extrêmement économique et est-il appelé à rendre d'immenses services à l'hygiène et à l'industrie en rendant encore plus général l'emploi du verre que recommandent son bas prix et ses précieuses qualités.

Ce mode de moulage permet de fabriquer des pièces de verre et en particulier des tuyaux d'une dimension quelconque, et on pourrait dire illimitée; le procédé même est d'une application d'autant plus facile que les dimensions des pièces sont plus grandes. On pourrait aussi obtenir des tuyaux munis d'un emboîtement, mais la facilité que cet emboîtement pro-

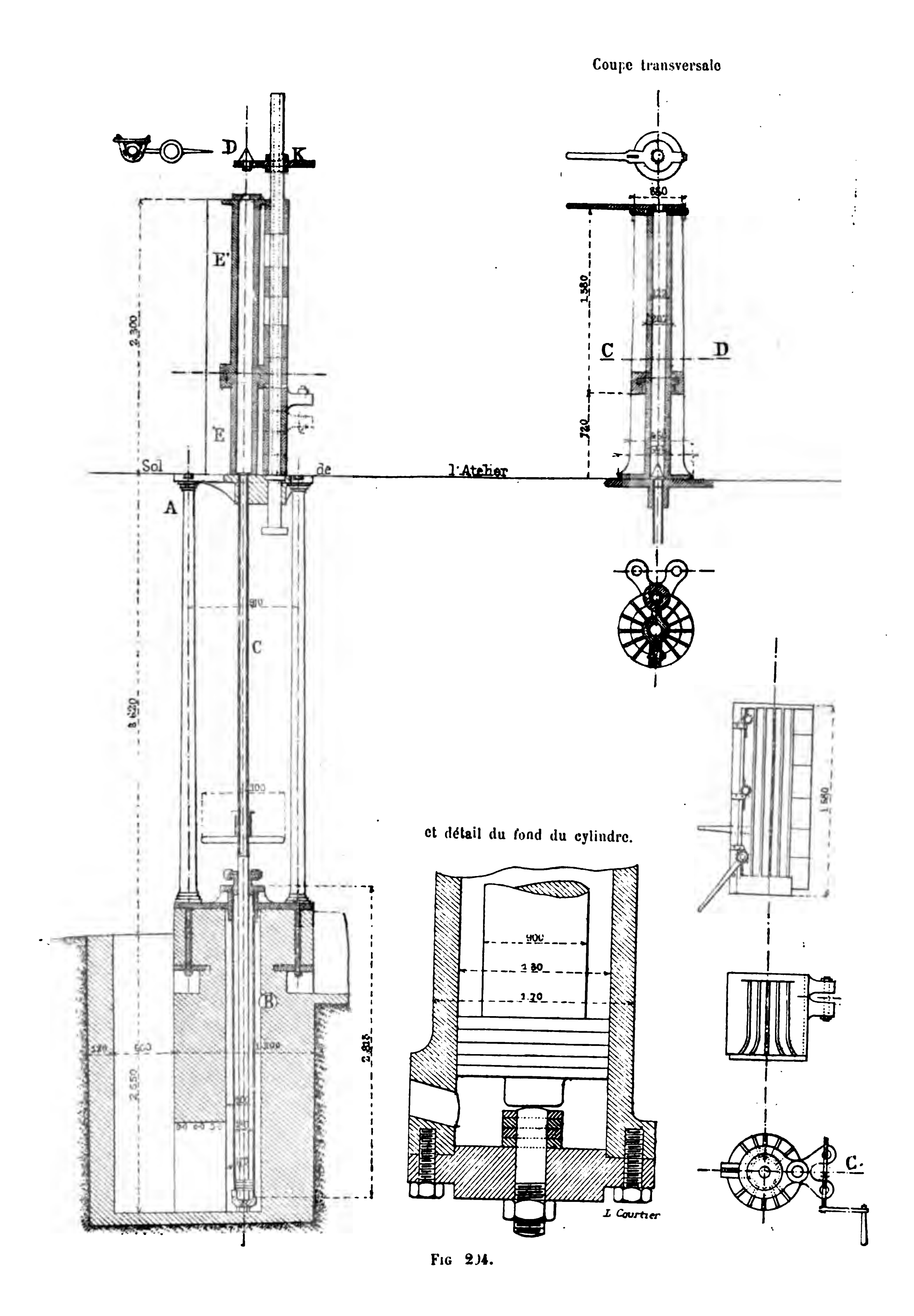

Coupe transversale
D
K
E'
E
Sol
de
l'Atelier
A
C
B
C
D
et détail du fond du cylindre.
900
1 30
1.20
C.
L Courtier

FIG 2)4.

curerait pour les jonctions serait compensée par les risques de casse et de fêlure au moment où on fait les joints ou quand ils se dilatent par suite des changements de température. Suivant l'usage auquel sont destinés les tuyaux fabriqués, on fait les joints de façons différentes :

Pour les tuyaux destinés à l'adduction des eaux sous pression, on emploie des joints métalliques permettant une dilatation facile et suppléant, par suite, à l'élasticité qui manque au verre. Beaucoup de personnes se sont préoccupées des chances de rupture que présenteraient ces tuyaux soit dans leur maniement, soit quand ils sont une fois mis en place.

Pour parer aux chances d'accidents possibles, dont il ne faut pas toutefois s'exagérer l'importance, on entoure les tuyaux d'une enveloppe protectrice

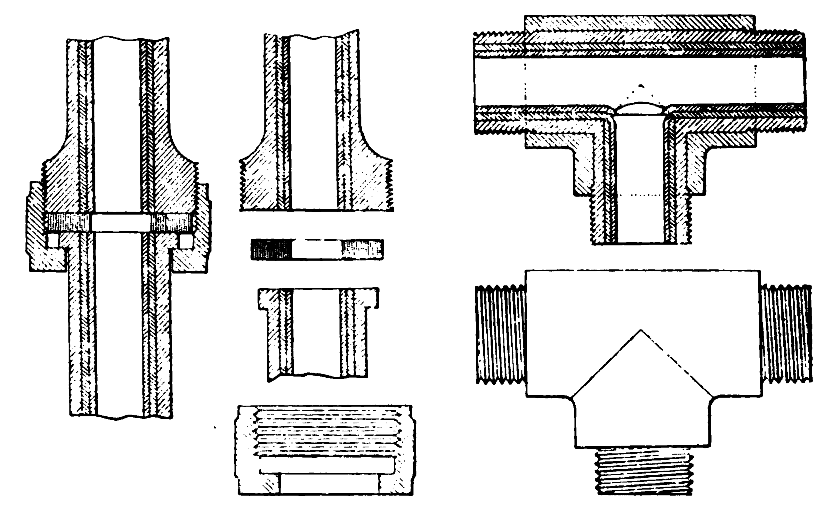


Fig. 295.

faite de matériaux grossiers tels que ciments, béton, bitume ou d'un métal qui les garantisse complètement et facilite en même temps la confection des joints.

C'est par un procédé analogue qu'on donne la résistace voulue aux tuyaux de faible diamètre employés dans les laboratoires ou dans l'industrie pour le

Légende de la machine à mouler les tuyaux en verre (fig. 294).

A, vide permettant l'accès au bas du cylindre.

B, cylindre et piston à air comprimé donnant le mouvement à la tige C.

C, tige en fer creux portant à sa partie supérieure un cône D destiné à appliquer le verre chaud dans l'intérieur du moule E.

D, cône dont le diamètre extérieur est un peu inférieur au diamètre intérieur du tube à fabriquer.

E, moule en fonte en deux parties E_1 et E_2 disposées de manière à pouvoir se fermer à charnières d'une façon indépendante pour faciliter le versage du verre dans la partie inférieure E_1 et à s'ouvrir sur toute la hauteur d'une façon simultanée au moyen de la vis G pour permettre le démontage des tuyaux.

J, pièce mobile s'ajustant à baïonnette sur le moule une fois fermé et destinée à séparer par étirage le verre mis en excès, du tuyau qui vient d'être moulé.

K, verrou destiné à isoler le cône mouleur D avant de faire redescendre la tige C qui a servi à son ascension.

transport des liquides (eaux minérales, acides, etc.) et des gaz sous pression, pour le transport de l'énergie électrique.

On entoure ces tubes d'un manchon métallique et on assure l'adhérence des deux parties en couchant dans l'intervalle qui les sépare un mortier très clair de ciment, plâtre, ou de tout autre enduit spécial.

Pour ces petits tuyaux, les joints sont réunis par une bague filetée (fig. 295); quant aux branchements, ils sont obtenus par soudure au chalumeau (fig. 296).

Pour les postes de jonction des canalisations électriques, M. L. Petit adopte généralement la disposition indiquée figure 296.

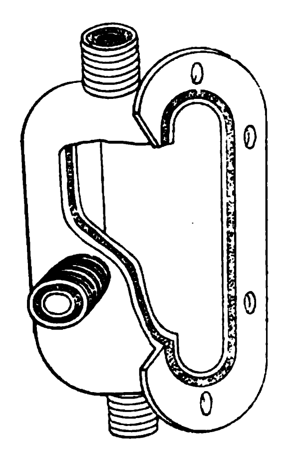


Fig. 296.

On peut également par le procédé Appert confectionner des tuyaux cintrés en arc de cercle de rayon variable, au moyen de machines spéciales; ces tubes permettent d'embrasser des angles de 170 degrés au maximum. Dans ce cas, le fonctionnement de l'appareil ne diffère de celui employé pour les tuyaux droits qu'en ce que le noyau est fixe et que c'est le moule qui tourne autour d'un arbre occupant le centre de l'appareil.

Les premiers tuyaux qui ont été fabriqués avaient un diamètre intérieur de 10 centimètres et une épaisseur de 6 millimètres; ils pesaient de 5 kilogrammes et demi à 6 kilogrammes le mètre courant. La Compagnie de Saint-Gobain, seule concessionnaire du brevet Appert, a créé depuis divers types, dont les diamètres sont respectivement de 30, 35, 40 et 50 centimètres. La pression intérieure à laquelle ces tubes devront résister étant contenue, on détermine l'épaisseur à leur donner en appliquant la formule de résistance des matériaux :

$$E = \frac{P_0 d_0}{2R}.$$

E, épaisseur;
d_0, diamètre intérieur;
P_0, pression intérieure par centimètre carré;
R, résistance à la rupture variable avec la nature du verre et dont on

pourra déduire la charge de sécurité en appliquant le coefficient de 0,25. Les tuyaux ainsi fabriqués peuvent subir sans rupture des variations brusques de température de 50 degrés au moins, et ils peuvent rivaliser, au point de vue de la résistance et du prix, avec les tuyaux en grès employés communément.

Le verre ne sera pas inférieur non plus à la fonte au point de vue de la durée; bien composé, il ne s'altère pas, étant enfoui dans le sol pendant de longues années.

Au point de vue du prix, il sera notablement moins élevé que celui des tuyaux faits avec ce dernier métal.

Ce procédé permet d'employer le verre à la confection de pièces longues, ouvertes ou non des deux bouts; il permet en particulier de faire les boîtes rondes ou rectangulaires employées pour la confection des piles et des accumulateurs d'électricité.

Il suffit dans ce cas, tout en opérant comme nous l'avons dit plus haut, au point de vue du moulage, de donner au noyau mouleur la forme intérieure de la pièce qu'on veut obtenir, en ayant soin de la tenir légèrement conique sur sa hauteur, de lui imprimer comme toujours un mouvement d'ascension vertical; mais au lieu de la continuer jusqu'à la sortie du noyau en dehors et au-dessus du moule, on l'arrête quand la face supérieure du noyau est arrivée au-dessous de la partie supérieure du moule à une distance égale à l'épaisseur que l'on veut donner à la pièce en fabrication.

La partie supérieure du moule est ouverte, et l'espace qui a été ainsi réservé se remplit, à la fin du moulage, de verre encore fluide, dont une partie peut s'écouler en dehors, s'il en a été versé en excès.

Un rouleau métallique, de dimension et de pesanteur suffisantes, mû mécaniquement ou à la main, suivant les dimensions des pièces, vient alors laminer ce verre à l'épaisseur voulue, expulsant en même temps l'excédent du verre qui a pu y être versé, et le séparant de la pièce moulée par sa réduction en lame mince sur les bords supérieurs du moule, qu'on a eu soin de tailler en biseau à cet effet.

On redescend vivement le noyau qui coiffait la pièce moulée, et, pour la terminer, il ne reste plus, une fois sorti du four de cuisson, qu'à en dresser les bords supérieurs, toujours un peu irréguliers, ainsi que les arêtes inférieures limitant le fond.

Pour la fabrication des récipients ou vases en verre dont nous venons de parler on a essayé, en Angleterre (procédé Armstong), une méthode qui consiste à former les parois par des feuilles de verre qui sont ensuite soudées entre elles, suivant les lignes d'angles de contact.

Le procédé consiste à placer les feuilles de verre sur un moule en fonte ou autre matière appropriée et à chauffer ensuite cet ensemble dans un four, les joints étant ensuite chauffés et pressés au moyen de rouleaux.

Le verre moulé a trouvé dans les applications à l'électricité un débouché considérable. Il est vrai que là, plus que partout ailleurs, le verre fait montre de toutes ses qualités.

On y utilise en effet ses principales propriétés, transparence, non conductibilité électrique, résistance à l'action des liquides acides.

Dans le même ordre d'idées, on fabrique pour boites d'accumulateurs, des plaques à rainures permettant la libre circulation des liquides (fig. 298), des



Plaque à rainaires pour accumulateurs. Isolateurs.

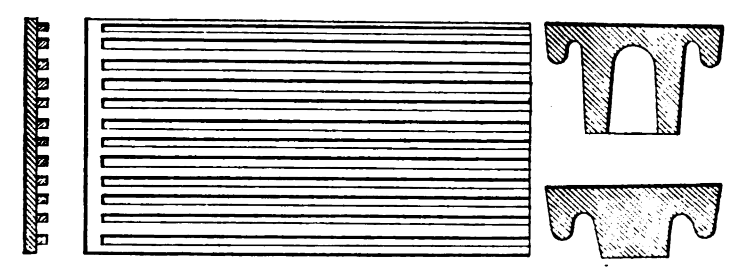


Fig. 297, 298 et 299.

isolateurs présentant les formes les plus variées et dont nous nous contenterons de donner deux spécimens (fig. 299).

Nous avons cité au chapitre de la trempe du verre, des essais faits pour obtenir le verre comprimé et trempé, pour traverses de chemins de fer, etc. Nous ne reviendrons pas ici sur ce sujet.

On fabrique également des tuiles en verre (fig. 300, 301), verre blanc, demi-blanc, etc., qui remplacent avantageusement les châssis vitrés placés dans les toitures faites en tuiles de terre. Ces châssis sont coûteux et d'une installation délicate quand on est forcé de les encastrer dans une toiture déjà achevée.

Ces tuiles en verre, se raccordant aux tuiles en terre, sont venues apporter leur contingent aux perfectionnements résultant de l'introduction du verre dans les constructions modernes.

On moule les tuiles en verre blanc de divers modèles à Montchanin, Muller, etc.; ces tuiles se vendent à la pièce et pèsent de 2 kilogrammes à 3kg,500 (1).

APPLICATIONS RÉCENTES DU VERRE MOULÉ.

Après avoir examiné les procédés mis en œuvre pour la fabrication des verres blancs proprement dits, nous allons passer en revue les quelques applications nouvelles qui en ont été faites.

Nous avons parlé de la fabrication des tuyaux en verre des, récipients de toute capacité et de toutes formes. On a fait en verre, par moulage, des traverses de chemins de fer, des poulies de transmission, des coussinets dont la durée est illimitée et qui réduisent les frottements au minimum.

Avec des verres spéciaux opaques, colorés ou blancs, tels que l'opaline, on moule des briques, on coule des panneaux qui, rehaussés par des couleurs d'émail, servent à l'ornementation des habitations.

On fait mieux encore. Nous pensons à construire — et l'idée a même déjà reçu quelques applications — des maisons en verre.

(1) M. Schott a apporté aux appareils à mouler le verre des modifications qui permettent d'exécuter le moulage de façon beaucoup plus rapide. Il a également construit des dispositifs ingénieux pour la découpe des objets en verre tels qne tubes, gobelets, etc. (V. pl. XXX, fig. 1, 2. 3.)

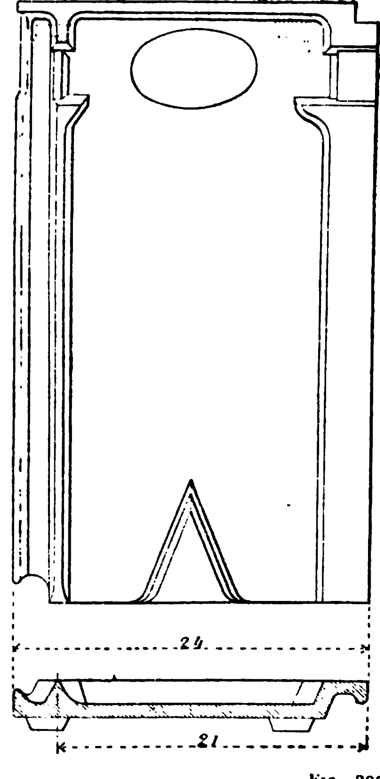
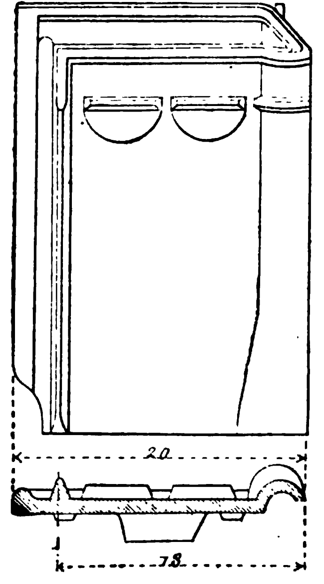


Fig. 300.



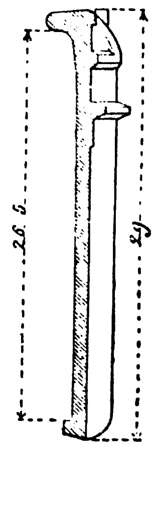


Fig. 301.

M. l'architecte Gauthier a bien voulu, à notre demande, nous faire une étude sur l'emploi du verre à la construction. Les progrès réalisés dans la seconde moitié de ce siècle, en permettant de fabriquer le verre et de le fournir économiquement sous les formes les plus variées et à des dimensions très considérables, ont rendu possible son application à une foule d'usages auxquels il eût été impossible de songer jusque-là.

Nous voulons parler en particulier des planchers et toitures où employé en épaisseur suffisante et de forme convenable, le verre permet à la lumière de s'introduire dans les profondeurs les plus reculées et jusqu'ici le plus souvent inaccessibles.

Pour la construction des murs, on emploie le verre soit en masses compactes, soit en pièces soufflées et formées de façon à en permettre un assemblage facile dans une carcasse de fers d'angle réunis entre eux par des bandes de fers plats. Les briques ou dalles de verre sont posées verticalement, adossées et jointes à l'aide de mastic. On constitue de cette façon une double paroi dans l'intérieur de laquelle on fait circuler, l'hiver, de l'air chaud, et l'été de l'air comprimé qui s'y détend et provoque le refroidissement.

Dans ces parois sont logés les fils électriques et téléphoniques, les conduites d'eau, etc.

Par l'emploi de matériaux en verre, on obtient des surfaces lisses et inaltérables, d'un nettoyage facile, en même temps qu'un isolement parfait qui place les habitants à l'abri des variations de température de l'air extérieur.

On a fait en outre des canalisations de toutes espèces utilisées soit pour l'adduction de l'eau, soit pour l'évacuation des liquides résiduaires de toute nature.

M. Gauthier a rassemblé dans les plans que nous reproduisons (pl. XXX) les diverses applications dont il vient d'être question en les groupant de façon à montrer l'intérêt qu'elles présentent au point de vue de l'hygiène et de la commodité. Nous comprenons encore autrement et ferons connaître la façon dont doit être construite une maison de verre, ou maison hygiénique et à température constante.

Partout l'air, la lumière, les lavages rendus faciles, les impuretés des parois rendues visibles, telles sont les conditions que l'emploi du verre permet seul de réaliser et qui établissent bien nettement le rôle que peut et doit jouer le verre comme coopérateur et agent principal de l'hygiène.

Une application du genre de celle dont nous venons de parler a été faite, il y a quelques années, par le docteur van der Heyden, médecin hollandais établi au Japon.

Il a eu l'idée d'utiliser la propriété que possèdent les solutions salines de laisser passer les rayons lumineux à l'exclusion des rayons calorifiques provenant d'une source lumineuse quelconque. Pour cela il divise les murailles de sa maison en panneaux métalliques dans lesquels on enchâsse de doubles plaques de verre, de façon à former des cloisons étanches qu'on remplit de la solution saline convenable.

Des cheminées d'aérage convenablement disposées servent à la ventilation d'hiver et à celle d'été.

Cette application est intéressante, et on comprend que de semblables constructions rendent de grands services dans les pays chauds, où une différence de quelques degrés est très favorablement appréciée.

Céramo-cristal. — MM. Garcher, installés depuis peu dans les environs de Lyon ont trouvé moyen d'agglutiner des fragments de verres colorés de façon à en former des plaques d'une certaine dimension comme surface et comme épaisseur.

Ces plaques sont non seulement unies, mais portent souvent un dessin soit en creux, soit en relief, obtenu par une sorte d'emboutissage à l'aide de presses puissantes, agissant sur la matière amenée au préalable par la chaleur, à un état convenable de malléabilité.

En même temps qu'elle produit le dessin, la presse découpe l'objet aux dimensions voulues.

Ces plaques de verre sont rendues rocailleuses sur une face, de façon à faciliter leur adhérence sur le ciment, corps qui convient parfaitement pour y sceller ces plaques et faire corps avec elles.

L'alliance du ciment et du verre nous semble remplir une condition importante de la décoration dans les constructions modernes.

Rideaux en verre. — L'emploi du verre pour la construction des maisons d'habitation a amené tout naturellement l'idée de faire servir la même matière à la fabrication des divers objets d'usage domestique. C'est ainsi qu'on a utilisé le verre pour la décoration des appartements en faisant des rideaux destinés à remplacer les rideaux de mousseline ou d'étoffe qu'on pose devant les fenêtres pour se garantir des regards des voisins. (Planche XXX).

Ces rideaux, faits avec de petits carreaux de verre uni ou agrémenté de dessins, blanc ou de couleur, ont plus de transparence que les rideaux d'étoffe et peuvent donner, en employant des couleurs judicieusement choisies, des effets analogues à ceux des vitraux ordinaires mis en plomb.

Les morceaux de verre qui les composent sont encadrés dans du zinc et reliés entre eux par leurs angles au moyen de petites agrafes en forme de crochets en S, ce qui leur donne une souplesse permettant de les relever, de les plier et en même temps de changer leurs dimensions en cas de déplacement.

Ces rideaux sont généralement placés dans les antichambres, les vestibules, les salles à manger, les vérandas, etc. On peut monter de petits rideaux en glissant dans des cordonnets indépendants les uns des autres des perles de verre maintenues par des nœuds faits aux cordonnets; c'est ce qu'a fait l'auteur de cet ouvrage.

Avec des perles de moyenne grosseur, de colorations variées, peu foncées et très espacées entre elles, on obtient de beaux effets décoratifs.

Tables en verre, guéridons, dessous de plats, dessous de lampes. — On fabrique maintenant des pièces moulées de toutes dimensions pour tables, guéridons, dessous de plats, encriers, boîtes à bijoux, à gants, etc. (en reliant les

plaques de verre entre elles par des rubans), qui, grâce à la propriété que possède le verre de donner au moulage des dessins très déliés, constituent des pièces décoratives et à bas prix. On peut d'ailleurs, grâce à la transparence du verre en rehausser l'éclat par la dorure ou l'argenture.

Plaques d'aération. — La Compagnie des chemins de fer du Nord a imaginé de remplacer les ventilateurs en bois des voitures de 1re et de 2e classe par deux plaques de verre ajourées et superposées. Par leur glissement facile et leur transparence, les nouveaux ventilateurs améliorent les conditions d'hygiène dans lesquelles sont placés les voyageurs; aussi cette innovation est-elle très appréciée.

Globes en verre pour lampes à arc. — Après de longues recherches, la formule pour utiliser l'arc électrique sans gaspiller son éclat, en l'atténuant par des globes opalins, paraît être trouvée. Cela résulte des expériences récemment faites au laboratoire d'électricité sur des globes holophanes proposés par MM. Blondel, Psaroudaki et Frédureau.

Reprenant d'une façon très ingénieuse les principes de Fresnel, ces messieurs substituèrent des phénomènes de réfraction exactement calculés

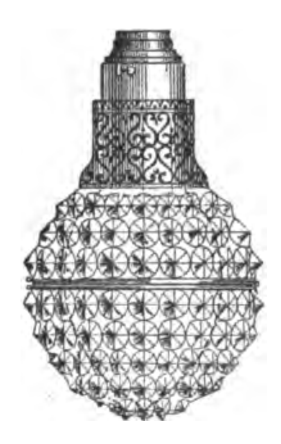


Fig. 302.

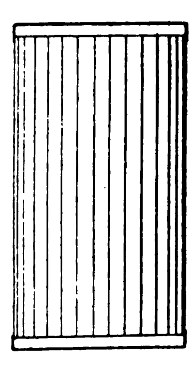
aux phénomènes complexes et incohérents de diffusion que réalisent les globes opalins.

Nous ne pouvons entrer ici dans les considérations mathématiques qui ont déterminé la genèse curieuse des globes holophanes. Nous nous contenterons de dire qu'ils se composent d'une enveloppe en cristal très transparent moulé à la presse. La surface extérieure présente des cannelures horizontales, et la surface intérieure des cannelures verticales. Leur profil est calculé pour chaque cas spécial.

Les cannelures verticales intérieures épanouissent horizontalement le faisceau lumineux, les cannelures horizontales extérieures l'épanouissent verticalement. En combinant ce double éparpillement des vibrations lumi-

neuses, on arrive à enlever à l'arc électrique son insoutenable éclat, tout en l'utilisant d'une façon à peu près complète et surtout agréable. A l'inverse, pour atténuer l'intensité de la lumière par incandescence et surtout pour ajouter à l'effet décoratif, M. Henrivaux a eu l'idée d'entourer les lampes d'une enveloppe constituée par de petits morceaux de verre colorés ou non, taillés en rose et sertis dans les mailles d'une garniture métallique (fig. 303), formée de deux demi-sphères pouvant s'ouvrir pour livrer passage à la lampe, puis maintenues au contact par un ressort. L'effet est des plus gracieux pour l'éclairage des salons, où il devient possible de multiplier les foyers lumineux sous forme de lustres ou d'appliques et de répandre ainsi à profusion une lumière douce aux reflets les plus chatoyants.

Une application du genre de celle que nous venons de citer plus haut a été faite récemment à l'éclairage au gaz. Les cheminées entourant la flamme sont composées d'une série de petites baguettes en verre placées verticalement les unes contre les autres et maintenues dans cette position par deux couronnes métalliques, dans lesquelles elles sont scellées (fig. 303, 304).



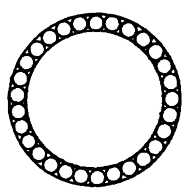


Fig. 303 et 304.

On obtient ainsi une meilleure diffusion de la lumière et par suite une augmentation du pouvoir éclairant.

Pour les becs Auer, dont l'intensité lumineuse est accrue, comme on le sait par l'introduction dans la flamme d'un capuchon tissé et trempé dans des solutions d'oxydes terreux de zircone, yttria, etc., on a été amené à faire usage de globes en verre légèrement coloré en rose, pour atténuer la teinte jaune verdâtre que les oxydes métalliques communiquent à la flamme et aux objets éclairés.

Cuves à vin. — Depuis quelques années on emploie le verre avec succès pour garnir les parois intérieures des réservoirs dans lesquels est conservé le vin soit au moment de la fabrication, soit en attendant la vente.

On découpe pour cela dans des glaces brutes d'une épaisseur de 6 à 12 millimètres des carreaux de dimensions appropriées à la forme des parois qu'on a à recouvrir, et à la capacité des cuves; généralement les feuilles de verre sont découpées en carré ayant 30 centimètres de côté. On noie les carreaux dans un bain de mortier de ciment de Portland à prise demi-lente posé comme enduit le long des parois des maçonneries, en ayant soin d'expulser les bulles d'air qui pourraient être emprisonnées entre le mortier et le verre.

Les revêtements en verre sont d'un nettoyage facile, et l'on sait qu'il est loin d'en être ainsi pour les cuves garnies simplement de ciment ou pour les foudres en bois qui, malgré les précautions les plus minutieuses, se recouvrent d'organismes susceptibles d'amener des fermentations accessoires. On évite aussi de laisser prendre aux vins le goût de terre ou de pierre qu'occasionne souvent l'emploi de ciment ou de carreaux vernis.

Emploi des verres coulés pour la construction des serres. — Les droits votés il y a quelques années pour protéger la culture des primeurs ont eu pour

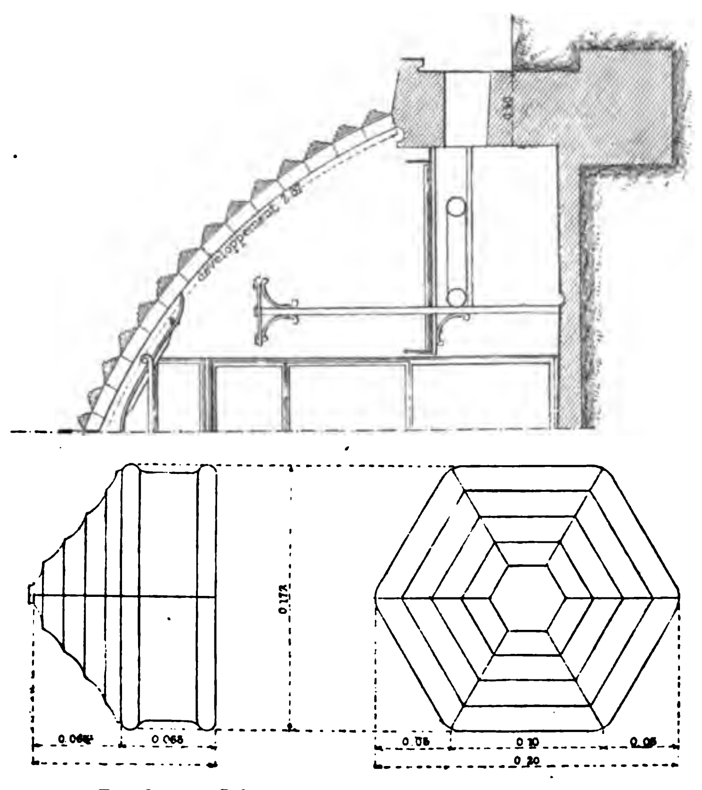


Fig. 305. — Briques creuses en verre (système Falconnet).

conséquence de créer en France une nouvelle industrie pour laquelle conviennent parfaitement les verres coulés.

Un préjugé condamnait jusqu'ici l'emploi de ces verres; on leur reprochait de laisser passer la lumière moins facilement que les verres à vitres. Les essais que nous avons faits à ce sujet ont démontré l'inexactitude de cette manière de voir; nous ajouterons qu'à épaisseur égale les verres coulés sont moins colorés que les verres à vitres.

Dans ces dernières années, on a fait usage, pour la couverture des serres, de briques creuses en verre (fig. 305). La présence de l'air enfermé entre les parois de la brique empêche en effet les déperditions de chaleur. On obtient le même résultat, et dans des conditions très avantageuses de prix de revient, en faisant usage d'un double vitrage. Les vitres extérieures sont en verre coulé de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, présentant toutes les conditions désirables de résistance aux intempéries, les vitres intérieures sont constituées par du verre coulé de 3 millimètres ou par des feuilles de verre à vitres. Le double vitrage présente des avantages si importants que notre opinion s'est formée complètement en sa faveur; aussi est-ce avec conviction que nous le recommandons aux horticulteurs.

Nous croyons devoir donner ici des indications qui pourront être utiles aux constructeurs.

	DILATATION — COEFFICIENT de dilatation linéaire pour un degré et pour les températures comprises entre 0 et 100°	ÉLASTICITÉ — COEFFICIENT d'élasticité.	CHARGE à la limite d'élasticité kg par cm².		CHARGE OU COEFFICIENT de rupture kg par cm².			
			Traction.	Compression.	Traction.	Compression.	Cisaillement.	Flexion.
Verre Saint-Gobain.	0,0000089	800.000	»	»	»	1700	»	250
Cristal français.. .	0,0000087	»	»	»	»	»	»	»
Fer.	0,0000118	2.000 000	1640	1650	3800	3000	2900	4800
Fonte.	0,0000107	1.000.000	600	1600	1300	7800	»	2900
Acier moyen. . . .	0,0000110	2.200.000	3400	3400	5500	6700	4600	7200
Cuivre rouge. . . .	0,0000185	1.160.000	300	»	2300	5700	»	2400
Laiton	0,0000180	1.000.000	400	»	1250	9000	»	1450
Bronze.	0,0000185	690.000	400	»	2300	»	»	»

En ce qui concerne l'élasticité, le tableau ci-dessous donne les limites de charge à compression admissibles dans la construction.

	Kg par cm².
Verre	75
Tôle de fer.	750
Fonte.	500
Acier fondu	300

RÉSISTANCE DES VERRES COULÉS UNIS ET A RELIEFS (1).

Nature du verre. —	Épaisseur moyenne des feuilles. —	Poids moyen des balles de plomb qui ont cassé les verres. —
Verre double ordinaire.	3mm,5	8 grammes.
Verre double dépoli.	3mm	2 —
Verre triple dépoli	6mm	6 —
Verre coulé strié	5 à 6mm	16 à 20 —

Le dépolissage fait perdre au verre à vitres une partie de sa force. Cela s'explique par le fait qu'en examinant au microscope une plaque de verre dépoli, on constate à la surface des creux et des bosses; l'ensemble a l'aspect d'une vallée parsemée de ravins et de montagnes, ce qui correspond à des inégalités d'épaisseur et, par conséquent, à une résistance moindre de la feuille de verre.

Les verres à reliefs coulés sont huit fois plus résistants que le verre double dépoli, et environ trois fois plus que le verre triple dépoli.

Pour la *résistance à la flexion*, nous conseillons d'adopter le coefficient de 250 kilogrammes par centimètre carré de section transversale.

On a obtenu des résultats très supérieurs dans les essais à l'appareil Thomasset, essais que la Compagnie de Saint-Gobain a provoqués à l'occasion des fournitures de vitrage pour l'Exposition de 1889; mais nous pensons qu'en pratique il faut s'en tenir au chiffre de 250 kilogrammes.

Il est commode de pouvoir se rendre compte rapidement de l'épaisseur qu'il convient de donner aux feuilles de verre pour un écartement déterminé des fers à vitrage, ou inversement de déterminer la largeur maximum à donner aux feuilles lorsque l'on connaît leur épaisseur.

Le tableau ci-après fournit ces renseignements, basés sur le dixième environ de la charge de rupture :

Épaisseur. —	Poids par mètre carré. — kgr.	Largeur maximum multiple de 3 centimètres. —
3 millimètres.	7,5	0,33
4 —	10,0	0,42
5 —	12,5	0,54
6 —	15,0	0,60
7 —	17,5	0,66
8 —	20,0	0,72

L'épaisseur des verres coulés étant assez considérable pour atténuer en partie la déperdition par rayonnement de la chaleur intérieure d'une serre, nous conseillons comme épaisseur 5 millimètres à 5 millimètres 1/2, et comme dimensions 1m,50 à 1m,80 de long, sur 0m,45 à 0m,40 de large. De cette façon,

(1) Ces chiffres sont le résultat d'expériences faites sur dix feuilles de chacune des espèces de verre, à l'aide de balles de plomb de divers poids qu'on a laissé tomber d'une hauteur de 18 mètres

dans le cas de serres à vitrages simples, on conservera plus avantageusement la chaleur, on évitera les chances de casses de ces verres par les intempéries, la neige, *la grêle*. Si on préfère les verres striés, on placera ces « stries » à l'*intérieur* afin de diviser, de disperser utilement les rayons solaires et la lumière.

L'épaisseur plus grande à donner aux feuilles de verre destinées à la couverture des serres, c'est le remède contre la transmission de la chaleur à travers les parois dans le cas qui nous occupe, c'est-à-dire quand la chaleur vient de l'intérieur.

La perte de chaleur par transmission est considérable, et on a grand intérêt à la diminuer.

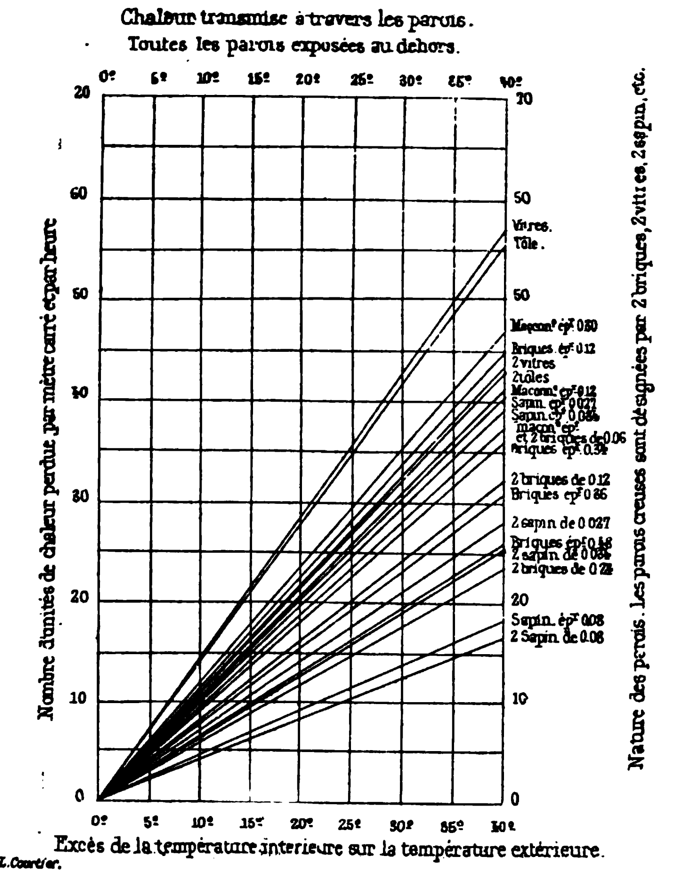


Fig. 303.

Les formules suivantes en montreront l'importance.

D'après Planat (1), étant donné :

T, température de la pièce chauffée;

(1) *Chauffage et ventilation des lieux habités*, par P. Planat; in-4°, Ducher, éditeur.

θ, température de l'air extérieur;

t et t^1, températures différentes des deux faces de la paroi;

C, quantité de chaleur qui, par mètre superficiel et pour un degré de différence entre les températures précédentes, passe pendant l'unité de temps à travers une paroi dont l'épaisseur est égale à l'unité;

La quantité C est le coefficient de conductibilité spécial à la substance qui constitue la paroi;

M, la quantité de chaleur qui passe à travers la paroi d'épaisseur e, par mètre superficiel et pendant l'unité de temps, c'est-à-dire la quantité cherchée.

L'expérience montre que M est proportionnel à l'épaisseur e, et que l'on peut écrire :

$$M = \frac{C\,(t - t')}{e};$$

Q, quantité totale de chaleur que perd la paroi, par mètre superficiel pendant l'unité de temps et pour une différence de température égale à l'unité;

K, quantité de chaleur perdue par rayonnement;

K', quantité de chaleur enlevée par le contact de l'air.

Au moyen de la formule :

$$M = \frac{K'Q\,(T - \theta)}{Q + K'},$$

on évaluera la quantité de chaleur perdue par les vitres, lorsque la pièce chauffée est entièrement exposée à l'air extérieur :

$$\text{Verre.}\left\{\begin{array}{l}\text{Valeur de } C = 0{,}80\\ \text{Valeur de } R = 2{,}91\end{array}\right.$$

On a objecté bien souvent que l'épaisseur des verres *coulés* était un obstacle à la transmission des rayons solaires. J'ai voulu répondre à cette objection et ai constaté que la maturité des fleurs et des fruits, leur grosseur, leur saveur, leur coloration, donnaient plutôt l'avantage au verre coulé, au verre épais, à cause de la moins grande somme d'écart entre les températures diurnes et nocturnes.

Le tableau ci-contre prouve ce que j'avance ici.

L'analyse des feuilles de vigne cultivées d'une part sous le verre à vitres, d'autre part sous le verre *coulé*, plus épais (*verre uni*), plus résistant, donne l'avantage au verre coulé.

Cette analyse a été faite dans un laboratoire agricole, et les résultats sont à l'abri de toute critique.

ASPECT DE GRAINS DE RAISIN OBTENUS EN « CULTURE FORCÉE »

Expériences comparatives faites à Gembloux (Belgique).

Nos 1 et 1 bis. Raisins obtenus *sous verres coulés* et sur 2 grappes différentes, la grappe 1 bis est moins avancée au début de l'essai.

Nos 2 et 2 bis. Raisins obtenus *sous verres à vitres* et sur 2 grappes différentes, la grappe 2 bis est moins avancée au début de l'essai.

N°1 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi matin 30 Mai 1891

N°2 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Vendredi soir. 5 Juin

N°3 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi 15 Juin. Ces derniers 15 Jours ont été très mauvais pas de soleil, pas de lumière pas de chaleur

N°4 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi 20 Juin. Un mois de faible grossissement ; les pepins se forment et se développent.

N°5 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi. 27 Juin.

N°6 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi, 4 Juillet.

N°7 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi, 11 Juillet.

N°8 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi. 18 Juillet.

N°9 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Dimanche, 26 Juillet. Les grappes commencent à se colorer. Les premiers grains colorés ont apparu Jeudi 23 aujourd'hui 26 les grains colorés sont en majorité sous le verre de St Gobain

N°10 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi 1er Août. La coloration se continue mais très lentement, à cause du mauvais temps persistant. Il n'y a jusqu'à présent plus de coloration sous les verres coulés.

N°11 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Mardi 11 Août. Le N°1 a un degré de maturité plus avancé que le N°2.

N°12 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Lundi 17 août. Les grains des grappes N° 1, 1 bis et 2 bis ont acquis presque tout leur développement

N°13 — 1, 2, 1 bis, 2 bis — Samedi 22 Août. Les raisins ont maintenant leur grosseur et la coloration est devenue uniforme. Les N° 1 bis et 2 bis sont beaucoup et sont des chasselas.

Conclusion. — Les raisins obtenus en culture forcée sont au moins aussi gros, aussi colorés, aussi savoureux lorsqu'ils ont été cultivés sous verres coulés (de 4 à 5 millimètres d'épaisseur), que sous verres à vitres soufflés de 2 à $2^{mm},5$; les verres coulés ont en plus l'énorme avantage de résister aux intempéries (grêle, neige, etc.) là où les vitres soufflées ne résistent pas.

NOTA. Ces raisins ont été grossis en 3 mois à peine. (Fig 1 à Fig 13.)

L. Courtier.

Fig. 307.

Le n° 1 est poussé sous le verre à vitre.

Le n° 2 est poussé sous le verre coulé uni de 5 à 6 millimètres d'épaisseur.

100 parties de matières sèches renferment :

	N° 1.	N° 2.
	—	—
Amidon	0,70	0,91
Matières albuminoïdes pures (méthode de Stutzer)	16,13	17,34
Extrait éthéré (chlorophylle, matières grasses, etc).	8,67	11,41
Cendres	10,54	10,98

Plusieurs expérimentateurs avaient annoncé que certains rayons lumineux exerçaient une influence favorable sur la végétation. On a affirmé notamment que les rayons orangés correspondant au spectre d'absorption de la chlorophylle, possédaient une action marquée.

M. Zacharewicz, professeur d'agriculture à Vaucluse, qui a expérimenté des verres de diverses couleurs dans la culture forcée des fraisiers, a obtenu les résultats suivants :

1° Les fruits les plus beaux et les plus précoces sont venus sous les verres ordinaires.

2° Le verre orangé a produit une exaltation de la végétation mais au détriment de la quantité des fruits, de leur grosseur et de leur précocité.

3° Le verre violet a donné une augmentation du rendement, mais les fruits sont moins gros et moins précoces.

4° Les verres bleu, vert, rouge ont été nuisibles à la végétation.

Tout récemment M. Hardy a apporté une modification heureuse au système de pose des verres pour vitrages des serres, des gares, etc.

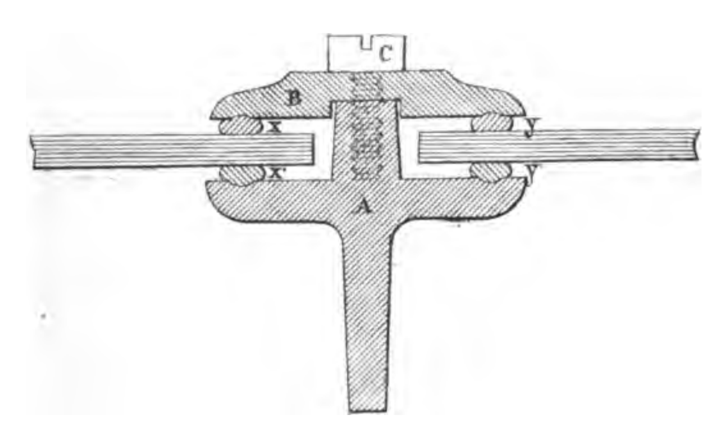


Fig. 308.

Il supprime totalement le mastic et laisse toute facilité pour la dilatation (voy. fig. 308).

Chaque fer à vitrage se compose de :

A, corps du fer.

B, chapeau.

xy, $x'y'$, caoutchoucs de 2 à 3 millimètres.

C, vis en laiton.

Le fer étant mis en place, on colle les caoutchoucs dans leurs rainures, avec une dissolution spéciale, on place les verres en ayant soin de ménager un petit jeu de 1 à 2 millimètres entre l'âme du fer et l'extrémité du verre : on recouvre alors avec le chapeau et on fixe l'ensemble par le serrage des vis C.

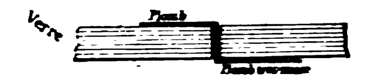


Fig. 309.

Pour les grandes parties de vitrages où il est nécessaire d'employer plusieurs feuilles de verre les unes à la suite des autres, le joint se fait au moyen d'une petite bandelette de plomb très mince et fixée au verre par de la céruse (fig. 309).

LIVRE DIXIÈME

VERRE SOLUBLE

L'usage et les propriétés d'une combinaison de silice avec la soude ou la potasse ont été décrits en 1520, dans un mémoire remarquable du R. P. Bazile Valentin. Au dix-septième siècle, l'alchimiste Glauber enseignait le mode de préparation de ce composé, qu'il nommait *liqueur des cailloux*.

En 1825, le professeur J.-N. Fuchs, de Munich, en cherchant à préparer de la silice pure, au moyen de la liqueur des cailloux, découvrit une autre combinaison de potasse et de silice, qui, désignée sous le nom de *verre soluble*, devint pour Fuchs l'objet d'études spéciales.

Les applications de ce composé, sa préparation industrielle, ne devinrent réellement pratiques que vingt ans après les travaux de Fuchs, et grâce aux recherches de Liebig et de Kuhlmann.

On distingue quatre espèces de verres solubles :

Le verre soluble de potasse;

Le verre soluble de soude;

Le verre soluble double;

Le verre soluble fixateur.

La substitution dans le verre soluble de la soude à la potasse a permis de livrer au commerce un produit plus économique et a rendu pratique l'emploi du verre soluble.

La silice peut être obtenue sous deux états différents. Dans l'un de ces états, elle est insoluble dans toutes les dissolutions et inattaquable par tous les acides, sauf par l'acide fluorhydrique ; dans l'autre état, elle est soluble dans les dissolutions alcalines ou acides. Elle perd d'ailleurs sa solubilité lorsqu'on la chauffe à 100 degrés.

Le verre soluble se dissout à peine dans l'eau froide, et complètement dans l'eau bouillante.

Le silicate de soude, à partir d'un certain degré de concentration, abandonne la silice de telle sorte que les solutions concentrées sont plus riches en alcali et les solutions étendues plus riches en silice, cela pour le verre à base de soude qui est plus facilement décomposable que le verre à base de potasse.

Partant des formules $SiO^3 + KO$ et $2SiO^3 + 5NaO$, Fuchs indique les proportions suivantes pour le verre soluble à base de potasse ou de soude préparé par voie sèche :

Silice	45	45	100
Carbonate de potasse	30	»	»
Carbonate de soude	»	23	»
Sulfate de soude	»	»	60
Charbon de bois en poudre	3	3	20

Il est important de se servir d'eau distillée, ou d'eau de pluie, pour faire la dissolution du silicate soluble afin d'éviter la formation du silicate de chaux.

On peut préparer le verre soluble, non seulement avec la potasse et avec la soude, mais encore avec ces deux bases réunies, on obtient alors le verre soluble double.

On peut obtenir le verre soluble par fusion et par voie humide en traitant, par des solutions alcalines, la modification soluble de la silice.

La valeur des différentes espèces de verre soluble est généralement en rapport avec leur richesse en silice, par conséquent, dépend de la nature du mélange employé, de la nature de l'alcali, de la température de fusion et de la solubilité de ce produit.

On emploie encore pour la préparation du verre soluble, la terre d'infusoires ou farine fossile, dont on a découvert en 1836, à Ebsdorf et à Oberohe, dans la principauté de Lünebourg, et à Hützel, un gisement considérable. Ce gisement d'une étendue de plus de 25 hectares, sur une épaisseur de 6 à 8 mètres, se divise en deux couches, l'une presque blanche, l'autre située au-dessous, d'un gris bleuâtre. Ces deux couches se composent des coquilles siliceuses de ces infusoires, encore vivants, et de quelques autres matières mélangées. Parmi ces dernières on peut citer la poussière de fleurs de pins, qui occupe environ la dixième partie du volume total. A l'aide du microscope on découvre dans cette terre des corpuscules très réguliers, de forme circulaire. La disposition allongée de ces corpuscules, leur forme creuse et leur nature siliceuse, sont les causes auxquelles il convient d'attribuer la légèreté et la porosité de la terre qui en est formée, ainsi que son défaut de liaison même à l'état humide (1).

Voici la composition de cette terre particulière :

	Blanche.	Grise.
Silice	86,44	80,92
Carbonate de chaux	1,31	1,50
Peroxyde de fer	1,48	1,82
Argile	1,64	3,53
Matière organique	2,31	3,89
Eau	6,75	7,90
	99,93	99,56

L'état de division de cette terre et de la silice dont elle est composée rend l'attaque par les lessives alcalines très facile.

(1) Nous apprenons qu'on vient de découvrir dans le Midi de la France des bancs de silice à infusoires.

Cette découverte serait très importante, car on sait que, outre son application à la fabrication du verre soluble, la poudre de silice fossile est employée à la préparation de la dynamite, au moulage d'appareils et de bougies de filtration, etc.

PROCÉDÉ DE FABRICATION PAR VOIE HUMIDE

FABRICATION DU VERRE SOLUBLE AU MOYEN DE LA FARINE FOSSILE

L'idée d'employer de la farine fossile pour préparer le verre soluble a été mise en avant il y a une vingtaine d'années déjà et Liebig conseilla même cette méthode comme étant la plus rationnelle. Cependant cette application est restée jusqu'ici extrêmement limitée : à part quelques tentatives isolées, notamment celle de la fabrication du silicate de potasse, l'industrie du verre soluble s'est abstenue entièrement d'utiliser cette forme particulière de l'acide silicique soluble.

Les méthodes anciennes sont donc toujours en faveur et principalement deux systèmes, dont l'un est employé en Angleterre et l'autre sur le continent. Dans la méthode anglaise, on prépare le verre soluble en faisant bouillir du silex dans une lessive caustique, tandis que, dans le procédé en usage sur le continent, on fabrique d'abord un verre à l'aide de sable, de soude, de sulfate et de charbon et on rend ce verre soluble par l'action de la vapeur d'eau sous pression. L'avantage de l'emploi du silex en Angleterre résulte de l'abondance et du bas prix de cette substance dans cette contrée, et même en Allemagne, la farine (l'action chimique étant identique) ne pourrait peut-être pas concourir avec le flint, qui est moins coûteux. Mais la farine fossile présente l'avantage d'être beaucoup plus aisément soluble que le silex.

Le flint, brisé en morceaux de 1 centimètre cube environ, et soumis pendant six à huit heures, sous l'influence d'une pression de vapeur de 4 1/2 à 6 atmosphères, à l'action d'une lessive alcaline d'une densité de 1,25 à 1,30, ne fournit qu'un verre très alcalin caustique ; ce verre contient environ 1 d'alcali pour 2 de silice. Avec la farine fossile, en employant des lessives d'une densité de 1, 2 et une pression de vapeur de 3 atmosphères, on obtient déjà au bout de trois à quatre heures un verre plus neutre, renfermant 3 de silice pour 1 d'alcali. Ainsi donc, tandis que le silex ne fournit que très difficilement un silicate que l'on peut mettre à côté de celui retiré du flint, sous le rapport de sa teneur en silice, le résultat est très aisé à obtenir avec la farine fossile. Le fait que cette dernière n'est pas encore parvenue à détrôner le flint doit être attribué à des considérations étrangères et accidentelles.

D'abord, la farine fossile devrait être calcinée ; cette opération est très longue, parce qu'elle ne doit pas laisser subsister dans le produit une trace des matières organiques que l'on rencontre dans les terres naturelles ; si cette condition n'était pas observée, on obtiendrait, par le lessivage, une solution de couleur brune ou jaune, difficile à vendre dans le commerce. Le minerai est extrêmement volumineux et conduit fort mal la chaleur, de sorte qu'il ne se calcine pas facilement ; cet inconvénient a suffi pour faire rejeter, par les fabricants de verre soluble, l'emploi de la farine fossile au point de vue de l'économie. C'est seulement dans ces derniers temps que MM. Grüne et Hagemann ont introduit dans le commerce un produit calciné d'un prix relativement peu élevé et l'on peut soulever de

nouveau la question de savoir si le procédé humide au moyen de la farine fossile n'est pas préférable à l'emploi du flint.

M. F. Capitaine a entrepris dans ce but une série d'expériences exécutées sur une grande échelle. Les lessives employées étaient préparées, en partie, au moyen de soude caustique, et en partie au moyen de carbonate de soude, elles avaient une densité de 1,22 à 1,24, chiffre qui a été reconnu comme le plus avantageux. Un réservoir muni d'agitateurs était rempli aux deux tiers environ de son volume de lessive et l'on y ajoutait la quantité voulue de matière bien calcinée, tout en maintenant les agitateurs en mouvement. La proportion de farine à employer est facile à calculer d'après cette donnée qu'une partie de soude hydratée dissout environ 2,8 parties de farine chimiquement pure; la composition de la matière calcinée varie très peu. Une lessive du degré indiqué ci-dessus suffit pour former une bouillie assez légère, qui ne présente pas une grande résistance à l'action des agitateurs. Si l'on fait ensuite arriver de la vapeur, la dissolution se produit très rapidement dès que la pression atteint environ trois atmosphères dans le réservoir et, au bout de trois heures à peu près, la silice est complètement dissoute. L'expérience enseigne bien vite à reconnaître quand on est arrivé au point d'arrêt, à l'inspection de la couleur du liquide et à ce caractère que la prise d'essai se clarifie très rapidement. La couleur des matières étrangères en suspension est alors d'un rouge brique foncé. Si l'on a employé un excès de farine ou si la cuisson n'a pas duré assez longtemps, la couleur est d'un blanc rougeâtre et la solution ne se clarifie pas par le repos. Un léger excès de silice non dissoute rend déjà la solution trouble pendant un temps très long et la filtration ne sépare même que très difficilement cet excès de silice.

Cependant il est facile d'éviter cet inconvénient dans la pratique et d'obtenir toujours un produit uniforme et se clarifiant facilement. Il importe toutefois d'observer encore une condition. Si l'on s'est servi d'une lessive trop concentrée d'une densité de 1,3 par exemple, on obtient un verre soluble d'un poids spécifique de 1,22 à 1,25; or une solution aussi concentrée ne dépose que très lentement à cause du sable fin et de l'oxyde de fer qu'elle tient en suspension et une semaine n'est pas trop pour obtenir la clarification de la liqueur. On doit donc conseiller de ne pas employer une lessive trop dense, afin d'avoir une solution d'une densité maxima de 1,18.

On comprend pourquoi le verre soluble obtenu est un peu moins dense que la lessive; cela provient du mélange de la vapeur condensée pendant la dissolution. Si le silicate a une densité supérieure à 1,18, le mieux est d'y ajouter une quantitée d'eau suffisante; la clarification se produit alors très vite et au bout de vingt-quatre heures le liquide est parfaitement blanc et clair. Le dépôt qui se forme, composé de sable et d'oxyde de fer, est un peu plus abondant que celui obtenu dans la dissolution du flint; mais il est facile à laver et, en le mélangeant avec du verre soluble dilué, il fournit un enduit d'un bon emploi.

Pour la préparation du silicate de potasse, qui doit contenir une proportion de silice aussi forte que possible pour les usages chirurgicaux, la farine fossile convient parfaitement. On doit, dans ce cas, faire durer la cuisson dans le réservoir une ou deux heures en plus et ajouter 10 à 15 pour 100 de farine de plus que pour le silicate ordinaire; de cette manière, on peut obtenir un

liquide si riche en silice qu'il commence déjà à se prendre en gelée quand sa densité est de 1,32.

La farine fossile peut également être employée en combinaison avec le flint. On commence d'abord par fabriquer, à l'aide du flint, un verre caustique que l'on transforme ensuite en silicate neutre en le faisant agir dans un second appareil en présence de la farine ; on peut aussi n'employer qu'un seul appareil et ajouter à la solution de flint la quantité voulue de farine.

Pour ce qui concerne le côté économique du système, l'auteur a trouvé que la méthode humide peut concourir avec le procédé au flint partout où les frais de transport n'élèvent pas le prix de revient de la farine fossile au delà de 15 à 20 pour 100. Ceci suppose un mode rationnel de lessivage automatique de la soude, et la possibilité d'acheter à bas prix la farine fossile calcinée. Le principal avantage de ce procédé est de supprimer les fours de fusion et les désagréments qu'ils entraînent.

SILICATES ALCALINS SOLUBLES

Procédé par voie humide. — La silice employée dans cette opération est la pierre à fusil (silex pyromaque), qui abonde dans la craie des environs de Lille. M. Kuhlmann chauffe d'abord ces pierres jusqu'au rouge, puis il les jette dans de l'eau froide pour les étonner. Non seulement cette opération amène la désagrégation du silex, mais elle détruit, en outre, les matières bitumineuses qui lui donnent sa coloration foncée. Ainsi préparées, les pierres sont placées en couches épaisses sur une plaque de fer perforée, et suspendues dans une chaudière autoclave à une distance d'environ $0^m,10$ du fond, de manière à empêcher leur contact avec les parties du récipient qui sont directement exposées à l'action du feu.

On y introduit alors une solution de potasse ou de soude caustique d'une densité de 1,16 (20 degrés B.) et on ferme parfaitement la chaudière. Celle-ci, qui est en tôle d'une épaisseur de $0^m,012$ à $0^m,013$ environ, est ensuite chauffée à feu nu jusqu'à ce qu'on obtienne une pression de six atmosphères, que l'on maintient pendant cinq ou six heures. On enlève ensuite le feu au moyen d'un ringard, et on fait écouler la solution de silicate, dont la densité varie de 1, 26 à 1, 28 (30 ou 32 degrés B.). Par la voie humide, et de la manière qui vient d'être décrite, il est impossible d'obtenir des solutions plus concentrées. Si l'on essaye de produire des solutions siliceuses plus denses, en employant des lessives alcalines d'une densité supérieure à 1,16, il se précipite une grande quantité d'un silicate insoluble (probablement très acide), et le composé qui reste en dissolution paraît être un silicate alcalin avec excès de base.

Pour ce mode de fabrication, Kuhlmann a également essayé d'employer une espèce de silicate hydraté, formé principalement de la carapace siliceuse des infusoires, dont on trouve des gisements considérables dans le Hanovre. Kuhlmann préfère son procédé reposant sur l'emploi du silex et du sable, parce qu'il obtient ainsi des silicates plus incolores.

Procédé par voie sèche. — On emploie de grands fours à réverbère pourvus de deux foyers (un à chaque extrémité de la sole), et dans lesquels on dépose le mélange de sable et de carbonate de potasse ou de soude. Le choix de l'alcali et les proportions du mélange dépendent de l'emploi auquel est destiné le silicate. Pour la peinture murale, M. Kuhlmann préfère la potasse en raison de son pouvoir dissolvant plus énergique sur la silice. Pour chaque équivalent de potasse, il ajoute deux équivalents de silice; il obtient ainsi un produit dont la solution peut être concentrée à une densité de 1,32 (35 degrés B.) sans qu'elle se solidifie. Le silicate de soude est cependant beaucoup plus demandé, à cause de son prix moins élevé ; et, en réduisant dans ce produit la proportion de silice à un équivalent et demi, M. Kuhlmann obtient un composé dont la solution peut être concentrée à une densité d'environ 1,532 (50 degrés B.) sans se solidifier. On utilise principalement ce silicate sodique pour remplacer les bains employés pour la fixation des mordants dans les manufactures de toiles peintes. Dans le cours de ces dernières années, on a en outre consommé, tant en France qu'en Angleterre, des quantités considérables de silicate de soude pour la fabrication du savon. On peut l'employer avec avantage comme un substitut de la résine, qu'on ajoute abondamment à plusieurs variétés de savon.

Kuhlmann se sert, comme silice, d'un sable pur qu'on trouve dans les environs de Creil, et dont on consomme de grandes quantités dans les manufactures de verres à vitres. Il retire la majeure partie de sa potasse des résidus liquides de la distillation des mélasses de betteraves, et il lui fait subir, pour cet usage, une purification très soignée. Il emploie également un carbonate de potasse fabriqué à l'aide du sulfate de potasse, d'après le procédé Leblanc. Son carbonate de soude est de même obtenu d'après la méthode Leblanc, mais il raffine presque jusqu'à pureté chimique. Il prévient la coloration foncée que la fumée du combustible pourrait donner aux produits du four, en ajoutant au mélange 3 ou 4 pour 100 de nitrate de soude ou de potasse.

Les nitrates de soude et de potasse sont encore utilisés plus directement dans cette fabrication d'après un procédé imaginé par M. Kuhlmann fils. Il décompose le nitrate de soude au moyen de sable, dans des fours à réverbère, condensant l'acide nitrique qui se produit en grandes quantités, et obtenant ainsi une masse poreuse qui, suffisamment chauffée, fournit du silicate de soude. On peut également appliquer ce procédé ingénieux à la fabrication du silicate de potasse, et, en substituant au sable de l'alumine ou de l'argile plastique, obtenir de la même manière de l'aluminate de soude ou de potasse.

Le verre soluble en solution, mélangé avec de la chaux caustique, passe rapidement à l'état de pâte visqueuse ; en se desséchant, cette pâte durcit peu, se crevasse et tombe en efflorescence sous l'action d'un carbonate alcalin.

La chaux, la magnésie, l'oxyde de zinc agissent très énergiquement sur le verre soluble, il y a là une action chimique ; la silice, avec une partie de la potasse s'unit à la magnésie, à la chaux, ou à l'oxyde de zinc, et il se forme en même temps un peu de carbonate de potasse. La craie mise en contact avec une dissolution de verre soluble y prend une grande dureté, il y a là simplement une dessiccation de la solution qui est absorbée par la craie.

Le verre soluble est précipité de ses solutions par les chlorures et les car-

bonates alcalins, par l'alcool ; il absorbe l'acide carbonique et perd sa solubilité.

Le verre soluble est un véritable ciment pour coller la pierre, le verre, la porcelaine.

On a récemment employé les silicates alcalins pour préparer des objets *xylo plastiques* en imprégnant avec le verre soluble du bois désagrégé par l'acide chlorhydrique.

On a proposé l'emploi du verre soluble mélangé à l'apprêt des étoffes, des tissus, etc., pour s'opposer à leur combustion avec flamme. Il en est de même du mélange de phosphate et de sel ammoniac, de tungstate de soude mélangé d'amidon, etc. On a employé ce composé pour garantir les bois de l'action du feu et de la pourriture, comme les anciens employaient du reste les dissolutions de sels alcalins, les sels d'alumine, d'aluns, etc.

La plupart de ces applications ont échoué dans la pratique, elles n'avaient rien de nouveau. Les architectes grecs et romains ont pratiqué, pour rendre incombustible et inaltérable à l'humidité le bois des remparts ou des fortifications, des théâtres ou des édifices publics, certaines dissolutions de sels d'alumine, ou de sels alcalins. En 1740, le chimiste suédois Faggot, puis Salberg, proposaient pour ces mêmes applications le sulfate de fer et l'alun. Gay-Lussac en 1811 proposa pour cet usage le phosphate d'ammoniaque, M. de Brézen le sulfate d'ammoniaque et l'alun, M. Morin l'oxyde de zinc, M. H. Masson en 1856 proposa le chlorure de calcium.

La multiplicité des moyens proposés prouve que si les applications sont importantes, les moyens proposés sont loin d'être parfaits.

Kuhlmann, auquel la science appliquée à l'industrie est redevable de si nombreuses et importantes découvertes, et dont le nom est intimement lié au silicate de soude ou de potasse, trouva des applications plus rationnelles du verre soluble. Les *Comptes rendus de l'Académie des sciences* renferment de 1841 à 1863 de nombreux et importants mémoires dans lesquels Kuhlmann expose sa théorie sur l'emploi des silicates solubles comme préservatifs des matériaux de construction. Voici l'exposé et le résumé de ces théories et de leurs applications (1).

Lorsqu'on met en contact de la chaux grasse délayée dans de l'eau avec une dissolution de silicate de potasse ou de soude, la potasse ou la soude sont éliminées et l'acide silicique en se combinant à la chaux se substitue à une partie de l'eau qui l'imprégnait et qui formait une pâte susceptible de se délayer indéfiniment dans ce liquide. Cette combinaison donne à la chaux la nature d'une matière plastique, laquelle, surtout si elle a subi l'action de la chaleur, ne blanchit plus l'eau qui la baigne. Lorsque cette chaux ainsi convertie en un silicate basique, se trouve dans les constructions mise en contact avec l'air, elle absorbe l'acide carbonique et se tranforme peu à peu en siliciocarbonate de chaux.

Si au silicate de potasse on substitue l'aluminate de potasse ou de soude, des phénomènes analogues se produisent.

(1) On consultera avec fruit l'important recueil des *Recherches scientifiques et publications diverses*, de M. Kuhlmann. Paris, Masson, 1878.

Silicatisation des enduits au mortier de chaux grasse. — Lorsqu'on arrose les murailles avec des solutions de silicate de potasse ou de soude, une réaction immédiate se produit par la transformation en silicate de chaux, de la chaux hydratée qui fait partie des enduits, si anciens qu'ils puissent être. Une partie de la potasse ou de la soude est éliminée. Le silicate, qui dans sa transformation se trouve intimement lié avec du carbonate de chaux, constitue ainsi un composé analogue à celui que donne l'exposition à l'air du mortier hydraulique, obtenu artificiellement par voie humide. Si le silicate alcalin est en excès, la réaction continue avec le carbonate lui-même en vertu de la propriété que nous allons analyser.

Silicatisation des calcaires poreux. — Le carbonate de chaux naturel en contact avec le silicate de potasse ou de soude, se comporte en partie comme la chaux caustique. Il élimine par son seul contact avec le silicate alcalin la potasse ou la soude et l'acide silicique forme avec le carbonate de chaux, le même siliciocarbonate dont nous avons précédemment signalé la formation dans le durcissement des chaux hydrauliques et des plâtrages à la chaux grasse. C'est toujours du siliciocarbonate de chaux qui prend naissance.

Ce qui vient à l'appui de l'explication des phénomènes qui s'accomplissent dans ces transformations, c'est que dans ces circonstances, même la dernière, il y a élimination de potasse ou de soude à l'état caustique et que la craie par son ébullition avec les silicates alcalins solubles, peut enlever à ces silicates jusqu'à la dernière trace de silice, tout en retenant l'acide carbonique qui entre dans sa composition.

Il faut donc le reconnaître, les carbonates calcaires exercent une action basique en présence de l'acide silicique qui n'est retenu par la potasse ou la soude que par une affinité des plus faibles.

On voit quel enchaînement intime il existe entre ces phénomènes qui tendent tous au même résultat, savoir la formation d'un siliciocarbonate de chaux hydraté susceptible de perdre successivement son eau d'hydratation, et d'acquérir la dureté caractéristique des ciments hydrauliques.

Silicatisation du plâtre. — L'action des silicates solubles sur le plâtre diffère essentiellement de celle qu'exercent les silicates solubles sur les calcaires : les phénomènes ne sont pas les mêmes, et l'on doit ajouter que les résultats au point de vue de l'application pratique sont plus incertains et par conséquent plus difficiles à obtenir. Les silicates alcalins en contact avec le sulfate de chaux donnent lieu à une double décomposition : à côté du silicate de chaux, il se forme du sulfate de potasse ou de soude.

Or on sait que ce dernier sel, par sa cristallisation, tend à détruire les calcaires poreux ; on s'en sert pour éprouver les pierres gélives. Dans le durcissement du plâtre la première précaution est donc d'employer exclusivement le silicate de potasse.

Mais là n'est pas le plus grand inconvénient ; l'action des silicates alcalins sur la pierre calcaire poreuse est une action successive et lente qui est extrêmement favorable à la consolidation des molécules siliceuses, tandis que celle qu'exer-

cent ces sels sur le plâtre est rapide, en quelque sorte instantanée; de là résulte un gonflement des plus considérables qui donne au plâtre une grande porosité, lorsqu'on gâche ce corps avec la dissolution siliceuse, et qui amène en peu de temps des déplacements d'écailles, lorsqu'on opère sur du plâtre moulé ou mis en œuvre dans nos constructions, aussi, dans toutes les circonstances dans lesquelles il est question de l'application des silicates solubles à ce durcissement du plâtre, il y a lieu d'insister sur la nécessité de l'emploi de dissolutions beaucoup plus faibles que celles applicables au durcissement des pierres calcaires.

Au point de vue du durcissement du plâtre, il est à regretter que la silicatisation par l'acide hydrofluosilicique présente également le grand inconvénient de laisser dans la masse de l'acide sulfurique susceptible d'en altérer la solidité.

Silicatisation des peintures à fresque. — Lorsqu'on applique les moyens de silicatisation proposés par Kuhlmann, aux travaux de peinture à fresque, les phénomènes qui s'accomplissent sont exactement les mêmes que ceux signalés pour la silicatisation des mortiers de chaux grasse.

On sait que dans cette peinture les couleurs broyées à l'eau sont appliquées sur un enduit de chaux grasse et de sable, pendant qu'il n'est encore que raffermi et que les couleurs se trouvent ainsi fixées par le carbonate de chaux lui-même dont les pellicules cristallines viennent envelopper les couleurs et leur donner un aspect mat et vaporeux, qui donne une grande valeur artistique à ce genre de peinture.

Lorsqu'on arrose avec des pompes les surfaces de muraille recouvertes de peinture, les parties superficielles du mastic de chaux grasse prennent la composition et les propriétés des ciments hydrauliques et acquièrent la dureté.

Peinture siliceuse au pinceau. — Dans cette peinture, avec des couleurs broyées au silicate, les carbonates et les oxydes qui font partie des couleurs forment lentement des combinaisons intimes avec l'acide silicique, et la potasse ou la soude est déplacée. Si la couleur est une matière inerte non susceptible de combinaison chimique, il se produit, par la seule action de l'acide carbonique de l'air, une pâte siliceuse qui constitue un ciment extrêmement adhérent, et qui acquiert en peu de temps, par l'élimination des alcalis, une entière insolubilité. Lorsque ces peintures s'appliquent sur des murailles en plâtrage à la chaux, ou en pierre calcaire, l'adhérence devient plus intime, le silicate alcalin agissant à la fois sur la matière colorante et sur le carbonate de chaux de la muraille.

Dans ce dernier cas il devient essentiel pour éviter l'appauvrissement trop prompt de la couleur de son ciment siliceux d'arroser les murs, au préalable de l'application des couleurs, avec une faible dissolution de silicate alcalin.

De même que pour le plâtre, il est des couleurs qui sont trop vivement et trop profondément altérées dans leur nature par leur contact avec les silicates alcalins; c'est ainsi que la céruse, le chromate de plomb et quelques autres sels qui se transforment en un silicate gélatineux, doivent être écartés avec le même soin que ceux qui sont altérés par la réaction des silicates.

Impression siliceuse. — Lorsque les silicates sont bien saturés de silice, le papier sur lequel l'impression a lieu ne s'altère nullement, mais on est cependant en droit de se demander si aucune réaction n'aura lieu avec le temps.

Quant à l'impression sur étoffes, après quelque temps d'exposition à l'air, la silice est fixée et le lavage enlève la potasse ou la soude.

Les parties de silicate qui auraient conservé de la solubilité peuvent être fixées par un léger savonnage ou même par un bain de sel marin, ce corps étant susceptible de former avec les silicates alcalins un composé peu soluble dans l'eau.

Injection siliceuse. — En étendant l'application des silicates solubles, à l'injection artificielle de toutes les pierres poreuses et en général des matières organiques et inorganiques, il n'y avait plus à attribuer le durcissement de ces corps à d'autres réactions qu'à la décomposition des silicates par l'action lente de l'acide carbonique de l'air et à la contraction graduelle de la silice.

L'absorption du silicate est variable avec la porosité de la pierre, mais en général la dépense n'atteint pas le prix de 1 franc par mètre carré.

On a fait l'application du silicate de potasse lors de la restauration du Louvre et des cathédrales de Paris, de Chartres, de Poitiers. Voici comme on a opéré : les murs sont d'abord lavés à l'eau au moyen de brosses, ou d'injections, à l'aide de pompes. On lance ensuite la solution de silicate, marquant 6 degrés aréométriques ; cette solution est reprise, lancée de nouveau, jusqu'à ce que l'on constate la formation d'une couche gélatineuse à la surface des murs. En donnant plusieurs couches ou plusieurs injections à quelques jours d'intervalle on augmente la densité de la solution. Cette manière de faire est assez usitée en Allemagne, où l'on silicatise généralement les édifices publics.

Si dans la préparation des couleurs on remplace l'huile de lin et l'essence de térébenthine pour le verre soluble, on obtient une peinture supérieure par sa solidité à toutes les peintures employées jusqu'ici ; l'application de cette peinture c'est la *stéréochromie* qui a été indiquée par Fuchs, mise en pratique et perfectionnée par le peintre V. Kaulbach. R. Wagner donne des détails sur l'emploi de cette peinture qui, abandonnée en France, est très en vogue en Allemagne, où l'on sait en tirer un très bon parti. La cour du Palais-Royal de Munich est peinte en stéréochromie. En Amérique, on emploie également cette peinture, de même qu'on y durcit les pierres de construction par la silicatisation. Dans la stéréochromie, le *fond*, c'est-à-dire le crépi, comprenant le *fond inférieur* et le *fond supérieur*, doit être l'objet de soins tout particuliers. On doit donner au fond, dans toute son épaisseur, une dureté égale à celle de la pierre et faire en sorte qu'il se confonde avec le mur. Le premier crépi ou fond inférieur est fait avec un mortier de chaux. On doit ensuite abandonner pendant quelques jours ce crépi à l'action de l'air, afin qu'il se sèche et puisse se carbonater ; cela fait, on l'imbibe avec le verre soluble : verre soluble à base de soude, ou verre soluble double.

Lorsque le fond inférieur a été solidifié de cette manière, on fait le *fond supérieur*, qui doit recevoir la peinture ; ce fond, analogue au fond inférieur, doit former sur celui-ci une couche d'une ligne d'épaisseur environ et avoir une

surface aussi plane que possible, et, lorsqu'il est sec, on le frotte avec un grès fin, afin d'enlever la couche mince de carbonate de chaux, qui s'est formée pendant la dessiccation et qui empêcherait l'absorption de la solution de verre soluble, et afin de donner en même temps à la surface la dureté nécessaire. Dès que le fond inférieur est bien sec, on l'imprègne de verre soluble, afin de lui donner la consistance convenable et afin qu'il se confonde avec le fond sous-jacent. Sur le fond supérieur tout à fait sec on applique les couleurs simplement avec de l'eau pure en arrosant fréquemment le mur avec ce liquide. Il ne reste plus maintenant qu'à fixer les couleurs, ce à quoi est destiné le *verre soluble fixateur* mentionné plus haut. Mais comme les couleurs n'adhèrent que très faiblement et qu'elles ne permettent pas l'emploi du pinceau, le verre soluble est projeté sur la peinture sous forme d'une poudre fine ou d'un brouillard au moyen d'un pulvérisateur imaginé par Schlotthauer et perfectionné par V. Pettenkofer. Lorsque les couleurs sont bien fixées, la peinture est faite. Pour terminer, on la lave au bout de deux jours avec de l'esprit-de-vin, qui enlève les impuretés et la poussière ainsi qu'un peu d'alcali mis en liberté. Comme fond de peinture, V. Fuchs recommande un mortier de verre soluble consistant en un mélange d'une dissolution de verre soluble avec du marbre pulvérisé, de la dolomie, du sable quartzeux et de la chaux délitée. Comme couleurs stéréochromiques on emploie: blanc de zinc, vert de chrome (oxyde de chrome), vert de cobalt (vert de Rinmann), rouge de chrome (chromate de plomb), jaune de zinc, oxyde de fer (rouge clair, rouge foncé, violet et brun), sulfure de cadmium, outremer, ocre (ocre claire, ocre chair, ocre d'or), terre de Sienne, ombre, etc. Le cinabre est rejeté parce qu'à la lumière il devient brun et enfin tout à fait noir. L'outremer de cobalt paraît beaucoup plus clair après la fixation et pour cette raison il n'est pas employé dans la stéréochromie.

La stéréochromie doit être considérée comme un mode de peinture tout à fait nouveau, en tant qu'elle emploie un moyen fixateur différent de celui qui est usité dans toutes les espèces de peinture ; ce qui la distingue, abstraction faite de la perfectien artistique, c'est le fond sur lequel elle est appliquée, fond qui la rend apte à se conserver sous toutes les latitudes et à résister à un grand nombre d'influences nuisibles (fumée, vapeurs, acides, brusques variations de température, grêle, etc.), qui altéreraient les fresques. L'emploi du verre soluble comme moyen fixateur, qui non seulement donne de la solidité au fond de peinture, mais encore confond et silicifie pour ainsi dire les couleurs avec celui-ci, constitue le caractère essentiel de ce mode de peinture de beaucoup supérieur à la peinture à fresques, dont le fond est du mortier de chaux ordinaire.

C'est à la présence de l'argile dans la chaux qu'il faut attribuer la propriété *hydraulique* de cette chaux. Nous n'avons pas à rappeler ici les travaux de Vicat, sa belle création de l'industrie des *chaux hydrauliques artificielles*, nous devons seulement citer les travaux de M. Kuhlmann relatifs à la *prise*, c'est-à-dire au durcissement des ciments en présence de silicates de potasse ou de soude.

Nous avons dit qu'on augmentait notablement la résistance des matériaux de construction en les enduisant de silicate soit par trempage, soit par simple

application au pinceau. Dans ce dernier cas, on complète généralement la silicatisation qui pourrait n'être que superficielle par l'application d'un enduit dans la composition duquel on fait entrer du verre soluble.

On peut donner à cet enduit les colorations les plus diverses par l'addition d'un corps minéral coloré.

Les résultats qu'on obtient sont très satisfaisants.

L'enduit est obtenu en mettant en suspension dans du silicate de soude à 20 degrés Baumé, une poudre composée de :

Carbonate de chaux	50
Argile	50

à la dose de 1 litre de silicate pour un 1/2 kilogramme de poudre.

Mode d'application. — Il ne faut passer la peinture sur la pierre que quand celle-ci a perdu toute son eau de carrière; ceci, afin que le pouvoir absorbant soit le plus grand possible. On donne trois couches distancées l'une de l'autre d'une journée au moins. La teinte doit être appliquée très abondamment en croisant, comme pour la peinture à l'huile, et on doit ressuyer de suite dans le sens contraire de la croisure à l'aide d'un balai à coller le papier.

Si l'on n'appliquait pas la teinte jusqu'à ce que le fond n'en absorbe plus, la peinture « farinerait » au toucher. Si on ne ressuyait pas de suite dans le sens contraire de la croisure, la peinture serait nuancée à cause de son inégale répartition sur la pierre.

Si, dans l'application de la peinture, on se trouve à proximité de boiseries peintes à l'huile ou d'un vitrage, on les préserve en les graissant avec du saindoux.

Il faut recommander à l'ouvrier chargé du travail d'agiter fréquemment la peinture, afin de répartir uniformément la poudre dans le liquide.

Fluosilicate. — Dans le même ordre d'idées, pour la préservation des constructions en matériaux de qualité inférieure, on combine quelquefois l'emploi d'un silicate avec celui d'un fluorure, tel que le fluorure d'aluminium acide.

Ici, il y a décomposition du carbonate de chaux avec formation d'un fluosilicate double de chaux et d'alumine insoluble et très résistant.

L'application se fait au pinceau et généralement on passe trois couches à une journée d'intervalle. L'ouvrier devra se garantir les mains, car le fluosilicate est acide et produit, par un contact prolongé avec la peau, une sécrétion abondante de sueur.

CONSOLIDATION DES MORTIERS ET DES CIMENTS HYDRAULIQUES PAR LA SILICATISATION

En ce qui concerne en particulier les composés si variables et si complexes qui constituent les chaux hydrauliques, voici quelques faits observés par M. Kuhlmann :

La dissolution de silicate de potasse ou de soude employée à former une pâte ferme avec de l'alumine, du silicate d'alumine en gelée et surtout avec de la

magnésie caustique ou carbonatée (magnésie blanche) donne des composés correspondants aux silicates naturels, feldspath, schiste talqueux, magnésite, etc., lesquels, constitués à l'état d'hydrate, se contractent par le repos et la dessiccation lente, deviennent fort durs, demi-transparents, et difficilement attaquables par l'eau.

La potasse ou la soude entre dans la constitution de ces composés de façon qu'ils présentent une certaine analogie avec les pâtes de porcelaine alumineuses ou magnésiennes. Ces pâtes, moins sujettes à se fendiller par une addition de sable fin ou toute autre matière non plastique, permettent de façonner des objets de moulure fort durs et inaltérables à l'air.

En associant la chaux délitée aux silicates hydratés dont on vient d'indiquer la préparation, on produit des silicates à trois bases qui constituent des ciments jouissant essentiellement du caractère d'hydraulicité.

Si, au lieu d'employer un mélange de chaux vive et de magnésie calcinée ou hydrocarbonatée (magnésie blanche), on pétrit certaines dolomies, ou mieux des craies dolomitiques calcinées et pulvérisées, avec une dissolution de silicate de potasse ou de soude, en y incorporant du sable ou de la pouzzolane, on obtient des ciments hydrauliques excellents. Ces ciments résistent le plus souvent à l'air comme à l'eau et peuvent servir dans toutes les circonstances, mais ils paraissent particulièrement propres aux travaux hydrauliques et capables de résister mieux que les ciments calcaires à l'action de l'eau de mer.

M. Vicat fils, partant de cette donnée que le silicate magnésien n'est pas, comme le silicate de chaux, attaqué par les sels de magnésie, a proposé de composer des mortiers pour les travaux à la mer, avec de la magnésie calcinée et des pouzzolanes artificielles, c'est-à-dire des arènes ou des argiles calcinées.

Le haut prix de la magnésie, soit qu'on la retire des dolomies, ou, comme l'a proposé M. Vicat, des eaux mères des marais salants, n'a pas permis de s'assurer par des expériences en grand de l'efficacité de ce procédé.

Ayant reconnu que les silicates de magnésie et de chaux hydratés ne sont pas entièrement insolubles dans une dissolution de chlorure de sodium, mais que cette insolubilité devient plus grande lorsqu'on opère sur des silicates doubles ou triples de chaux et de magnésie, de chaux, de magnésie et d'alumine, on a été conduit à faire entrer directement les dolomies calcinées dans la composition des mortiers, en leur donnant, par une addition de silicates alcalins, des caractères de consolidation que ne donnerait certainement pas l'addition de pouzzolane artificielle.

Dans la direction de ces essais, on avait pour but non seulement de mettre à profit le peu de solubilité des silicates magnésio-calcaires dans l'eau de mer, mais surtout certaines propriétés particulières des silicates alcalins qu'on vient de faire connaître.

La plupart des sels que contient l'eau de mer doivent concourir à protéger contre toute corrosion nos constructions maritimes, lorsqu'il entre dans la composition du mortier des silicates alcalins solubles ou que ces constructions sont revêtues de ciments imprégnés d'un excès de ces silicates.

D'abord, la chlorure de magnésium et le sulfate de magnésie étant décomposés, doivent constituer à la surface des travaux hydrauliques une couche de

silicate de magnésie; le sulfate de chaux doit former au contact du silicate de potasse ou de soude, du silicate de chaux, tous composés difficilement attaquables par l'eau de mer.

Reste l'action du sel marin ; à l'égard de cet agent d'altération, on a fait une observation, qui n'est pas sans importance : c'est que ce sel, en dissolution affaiblie jusqu'à la proportion dans laquelle il se trouve contenu dans l'eau de mer, précipite lentement la silice en un composé siliceux non encore déterminé de silicate de potasse ou de soude. Cette précipitation est immédiate dès que la proportion de sel marin devient plus considérable, qu'elle s'élève à 5 pour 100 par exemple.

Le chlorure de potassium se comporte différemment. C'est à peine si avec des dissolutions concentrées on sépare quelques flocons de silice, alors que la dissolution siliceuse versée dans le sel marin au même degré de concentration se prend en masse. Les deux chlorures agissent d'une manière analogue sur l'aluminate, le stannate et le zincate de potasse. Dans certaines circonstances, l'analyse chimique pourra tirer un parti avantageux de cette singulière propriété.

Désirant s'assurer dans quelles limites la grande affinité de la magnésie pour la silice peut être utilisée dans l'emploi des produits naturels, on a soumis à la silicatisation un grand nombre de chaux magnésiennes résultant de la calcination de diverses dolomies. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les dolomies de Traversellcs (Piémont), les craies dolomitiques d'Igornay près Autun, les craies dolomitiques de Beynes (Seine-et-Oise).

La présence dans les dolomies d'un excès de chaux et d'un peu d'argile paraît favorable ; mais, pour obtenir un bon raffermissement, il est utile de laisser bien s'hydrater la dolomie calcinée avant d'y ajouter la dissolution siliceuse.

En envisageant la silicatisation des mortiers en dehors de l'influence de la magnésie, on a constaté par des expériences nombreuses mais qui n'ont encore qu'une durée de quelques mois, que l'on obtient de bons mortiers hydrauliques en associant à la chaux grasse, non seulement du sable et des silicates alcalins, mais aussi un peu d'argile. Les mortiers composés de 30 parties de chaux grasse, 50 de sable, 15 d'argile non calcinée et 5 de silicate de potasse en poudre, ont permis de construire des citernes parfaitement étanches.

Ainsi, avec une dépense de 5 pour 100 de silicate alcalin sec ou leur représentant en dissolution, les mortiers acquièrent déjà une grande dureté. On fait d'ailleurs varier ces quantités suivant le degré d'hydraulicité qu'on veut obtenir. Il est préférable de faire entrer les silicates alcalins dans la composition de mortiers ou ciments, soit magnésio-calcaires, soit exclusivement calcaires à l'état d'une poudre très fine ; leur action est plus lente, mais elle est graduelle, le raffermissement des mortiers silicatisés devient définitivement plus considérable et le travail est plus facile. Il faut d'ailleurs éviter un gonflement trop rapide du ciment; cela lui donne à la longue une certaine porosité, et à ce point de vue, il pourra même être utile de faire usage de silicates alcalins peu solubles, lorsque la prompte consolidation ne sera pas une condition essentielle du travail à exécuter.

Pour les travaux à la mer, il conviendra d'employer dans les parties exté-

rieures, immédiatement en contact avec l'eau salée, un excès de silicate alcalin, afin de protéger mieux les parties centrales.

On emploie actuellement le silicate de soude pour divers usages, notamment en Allemagne et en Amérique, dans la fabrication des savons d'huile de palme et d'huile de coco. Il rend ces savons plus alcalins et plus durs.

Employé pour le blanchissage du linge, le silicate de soude donne des résultats de beaucoup supérieurs de ceux qu'on obtient par les procédés habituels.

Quelle que soit la pureté des produits chimiques employés dans le blanchissage, le linge reste souvent roux ou bien se couvre de grandes taches jaunes. Pour corriger ces défauts, le blanchisseur augmente la dose du caustique, prolonge la durée de l'ébullition et, si parfois il arrive au but, c'est au détriment du linge qui est brûlé.

Il est reconnu que le linge s'use beaucoup moins vite dans les campagnes où l'on coule encore les lessives avec des cendres. Aussi tous les mécomptes éprouvés sont-ils généralement imputés aux produits chimiques mis en œuvre, tandis qu'ils doivent être attribués à la nature des eaux employées. Les unes sont réputées de bonne qualité, d'autres au contraire sont rejetées comme impropres au blanchissage. Cette distinction doit disparaître. Dans les eaux communes, il n'y a que les sels de chaux et de magnésie qui aient une influence, les sels des autres bases sont en trop faible proportion.

Le bicarbonate de chaux se dédouble à l'ébullition ou par l'addition de soude et forme un précipité qui adhère au linge : agissant comme une laque, il fixe aux tissus la couleur jaunâtre que possède la solution alcaline dans laquelle il prend naissance; les taches de lessive résistent aux lavages subséquents ainsi qu'aux agents oxydants. Le sulfate de chaux agit de même; il est du reste ramené à l'état de carbonate par l'addition du sel de soude. On connaît enfin l'action des sels de chaux et de magnésie sur les savons alcalins qu'ils décomposent.

Lorsqu'on emploie de l'eau distillée, ou simplement purifiée, les accidents signalés plus hauts ne se produisent pas. Mais, dans le blanchissage, on ne peut recourir aux procédés industriels d'épuration, qui sont trop compliquées; il faut un moyen plus simple : on rend inoffensive une eau calcaire en l'additionnant d'un silicate alcalin, dont la qualité essentielle est d'être entièrement soluble dans l'eau.

On l'obtient aisément en mélangeant à du carbonate de soude anhydre en poudre 10 à 20 pour 100 d'une solution saturée de silicate de soude NaO, SiO^2. Le carbonate tendant à former l'hydrate $NaO, CO^2 + 10HO$ absorbe l'eau de la solution et devient pour ainsi dire le support du silicate.

Sous cette forme, ce sel est aisément transportable et conserve sa solubilité, tandis qu'aucun silicate obtenu directement par fusion n'est intégralement soluble.

Au sein de la lessive, le silicate donne avec les sels de chaux et de magnésie un précipité floconneux qui se dépose très vite, n'est nullement adhésif et devient à l'ébullition pulvérulent comme du sable.

En solution dans une eau ainsi purifiée, tous les produits lixiviels sont employés utilement; de plus, comme on ne perd plus ni soude caustique ni

carbonate de soude, on peut calculer les quantités strictement nécessaires de ces produits et éviter ainsi un excès nuisible et coûteux.

L'expérience montre alors qu'il suffit d'une très petite quantité de soude caustique : elle est utile pour amorcer la saponification des corps gras que le carbonate alcalin continue ensuite d'une façon moins énergique et moins dangereuse pour les tissus; mais on peut s'en passer. Du reste, quand on analyse les principes actifs extraits des cendres de bois, on trouve uniquement du carbonate et du silicate de soude ou de potasse.

Mélangé avec le sulfure d'antimoine, le verre soluble donne une matière foncée susceptible d'un beau poli. Avec la limaille de fer, il donne une masse d'un gris noirâtre d'une grande dureté. Avec la limaille de zinc il donne une matière grise, dure, qui peut servir à mastiquer des pièces de zinc.

Neutralisé par l'acide hydrofluosilicique, filtré, on obtient un produit qui a déjà été employé en photographie en place de collodion. Le *silicate de potasse* est employé en chirurgie dans la contention des fractures, comme la dextrine qui remplit à peu près le même office.

Le verre soluble remplace souvent l'alumine dans la fabrication des toiles peintes; les tissus imprimés par ce procédé résistent à la lessive.

En teinture, le coton trempé dans le verre soluble jouit de la propriété d'attirer les couleurs, on se sert dans ce cas du verre soluble comme apprêt. On passe dans un bain légèrement acide le coton trempé dans le silicate, la silice se dépose à la surface de la fibre, on lave, et le coton est ensuite passé à la teinture.

Lavage de la laine avec le verre soluble neutre. — L'emploi du verre soluble, pour le lavage de la laine, constitue un progrès important dans cette industrie. Le traitement est si simple et si économique, qu'il suffit d'en faire un essai en petit pour en reconnaître les avantages en ce qui concerne la laine.

On prend 40 parties d'eau à 50 ou 57 degrés, et une partie de verre soluble neutre; on y plonge la laine pendant quelques minutes, et on la triture un peu à la main; on la lave ensuite avec de l'eau froide ou tiède, et on la trouve alors complètement blanche et exempte d'odeur. La laine, après cette opération, reste parfaitement douce, et ne perd rien de sa qualité, même lorsqu'on la laisse pendant plusieurs jours dans la solution du silicate, et que l'on attend pendant tout ce temps pour la laver dans l'eau chaude.

On peut même la laver sur pied, en préparant la lessive d'avance, et en ayant soin de préserver les yeux des moutons au moyen d'une couverture, et de faire le lavage en une minute, avec la lessive dont on enlève l'excès à l'eau tiède.

Dans les filatures de laine peignée, on doit d'abord faire tremper cette laine, pendant dix minutes, dans le bain de 40 parties d'eau, à 50 ou 57 degrés et de 1 partie de verre soluble, puis dans un autre bain de 80 parties d'eau à 37 degrés et de 1 partie de verre soluble.

On obtient ainsi un résultat très beau et très économique, sans emploi de savon ou de soude, et la laine devient au moins aussi blanche et aussi douce que par toute autre méthode.

LIVRE ONZIÈME

CHAPITRE PREMIER

LE CRISTAL

Historique. — On trouve du plomb dans le verre *hématin*, dont les Gaulois se servaient pour émailler leurs armes ; du temps de Pline, certaines imitations de pierres précieuses étaient fabriquées avec des matières vitrifiables riches en plomb.

Fougeroux de Bondaroy, membre de l'Académie des sciences, a trouvé que le *Miroir de Virgile*, substance transparente, de forme ovale, de 14 pouces sur 12, épaisse d'un pouce, du poids de 30 livres, conservée parmi les pièces les plus antiques du trésor de Saint-Denis, contient environ moitié de son poids de « terre vitrifiable », c'est-à-dire d'oxyde de plomb.

Les archéologues admettent tous que les anciens connaissaient le cristal.

Le moine Théophile (onzième au douzième siècle) (1) dit : « Prenez du plomb neuf le plus pur, mettez-le dans un vase de terre neuf et calcinez-le jusquà ce qu'il soit réduit en poudre, et laissez-le refroidir. Prenez ensuite du sable, et mêlez-le avec la poudre de plomb dans la proportion de 2 de plomb pour 1 de sable, et mettez le mélange dans un creuset éprouvé, que vous placerez dans le feu, et ferez fondre, comme nous l'avons indiqué précédemment, et vous brasserez souvent le verre jusqu'à ce qu'il soit bien fondu. »

Tous ces produits étaient très probablement du silicate de plomb, qui moulé, ou soufflé, donne des produits très lourds mais très fragiles, très altérables.

Dans le traité sur l'*Art* de la verrerie de Néri, Merret et Kunckel, de 1752, au chapitre XLI, on lit : « Le verre de plomb est une matière connue de peu de gens dans l'art de la verrerie. C'est lorsqu'il est question de colorer, une des plus belles qui se préparent dans le fourneau. On s'en sert pour imiter les pierres précieuses de l'Orient... Si l'on n'y fait attention, ce verre pénètre et passe au travers de tous les vaisseaux et se réduit en chaux ou en cendres... Le verre de plomb n'est point d'usage dans nos verreries d'Angleterre, à cause de sa trop grande fragilité... Quercetanus, in *Hermet. med. defens.*, chap. IX, assure avoir vu un anneau fait de verre de plomb, qui trempé pendant une nuit, dans le vin, lui donnait une qualité purgative sans jamais perdre cette pro-

(1) Deuxième livre de l'*Essai sur divers arts*, traduction Bontemps : *Du verre fait avec le plomb.*

priété. » Néri donne en outre une recette (1) pour obtenir un cristal qui contiendrait le double de la proportion d'oxyde de plomb que contient le cristal actuel. Il faut donc conclure que le cristal ou verre plombeux des anciens se rapprochait beaucoup plus, comme composition, du strass que du cristal actuel.

Aux Anglais appartient donc l'honneur d'avoir créé un produit nouveau : le *flint-glass*, produit qui, par les soins apportés dans le choix des matières, dans les progrès de la fabrication, constitue la plus belle matière vitreuse qu'il soit possible de produire.

La première verrerie anglaise où l'on fit des objets de luxe, fut fondée à Londres en 1557. Comme combustible on employait le bois et l'on fondait dans des pots découverts le verre composé de silice et de potasse. En 1635, on accorda à Robert Mansell le monopole de cette branche d'industrie, parce qu'il avait substitué de la houille au bois. Cette amélioration se développa lentement ; les produits plus fins, plus choisis, provenaient toujours de Venise, et il s'écoula un demi-siècle avant que l'Angleterre renonçât aux produits étrangers. Bientôt on fit la remarque que ce verre, fondu à la houille, était plus coloré que le verre fondu au bois ; pour obvier à cet inconvénient, et afin de protéger la masse du verre contre la fumée de charbon, on recouvrit les pots d'une sorte de voûte, qui leur donne la forme d'une cornue à col très court. Mais on fit en même temps la remarque que le verre ainsi protégé n'absorbait plus la même quantité de chaleur, qu'il fallait prolonger la durée des fontes, augmenter la proportion du fondant ou d'*alcali*. Alors se produisit une nouvelle cause de coloration, et on obtint un verre de qualité inférieure. Ce fut le motif qui engagea les verriers à remplacer l'alcali par l'oxyde de plomb ; seulement cet oxyde fut employé en proportion telle que le verre obtenu avait une coloration jaunâtre, indice d'un excès d'oxyde de plomb. En diminuant la proportion de cet oxyde, en y associant la potasse, on parvint à obtenir un produit qui, vers le milieu du dix-septième siècle, devint d'une fabrication à peu près régulière. Vers 1750, l'opticien *Dollond* faisait ses premières expériences sur l'achromatisme, et le *flint-glass* semblait déjà être d'un usage courant, sans avoir atteint cependant le degré de perfection qu'il a atteint de nos jours.

Pour augmenter encore les qualités de leur *flint-glass* les Anglais imaginèrent de nouvelles tailles, à l'imitation de celles du diamant, dites à *facettes* ou diamantées, et conservèrent dès lors le monopole de ces verres de luxe jusqu'au jour où la France put le leur disputer. Le façonnage des pièces est pratiqué par les ouvriers de Birmingham avec une habileté et une régularité remarquables, en dehors de tout procédé mécanique ; les formes des objets sont aussi très étudiées et artistiques, les tailles riches et d'un poli très vif ; quant aux gravures elles sont bien supérieures, sous tous les rapports, à celles si vantées d'Allemagne ou de Bohême.

Puisque nous sommes arrivé à entretenir le lecteur de la partie artistique des cristaux anglais, nous ne pouvons résister au désir de citer quelques faits que nous tenons d'artistes et d'industriels intéressés à cette question de fabrication spéciale dans laquelle l'art joue un si grand rôle. Ces faits résultent

(1) Chap. LXIII, p. 157, 158.

d'observations consignées à la suite de diverses Expositions universelles, puis d'Expositions d'arts industriels en 1851 à Londres, en 1855 à Paris, 1862 à Londres, 1863 à Paris.

Avant 1855, la supériorité de la France dans l'art industriel n'était guère l'objet d'un doute, nous ne nous connaissions pas de rivaux.

A l'Exposition de 1855 encore, le privilège des tentatives ingénieuses et des créations élégantes nous était resté.

En 1862, l'art industriel français avait trouvé à l'Exposition universelle de Londres un concurrent, un émule inattendu, presque un vainqueur: l'art industriel britannique.

A l'Exposition des arts industriels de Paris, en 1863, les artistes, frappés des observations recueillies à Londres l'année précédente, étaient anxieux de connaître le jugement du public sur les nouvelles créations exposées; ces artistes recherchèrent quels étaient, dans les années précédentes, les progrès accomplis, les progrès restant à faire.

L'explication de cette transformation du goût, de l'art, en Angleterre, réside dans la part faite non aux expositions, mais à l'étude même de l'art. Ce n'est pas à s'admirer elle-même que l'Angleterre a passé les années qui ont précédé ce réveil de 1862, elle les a passées à s'instruire, à développer chez elle, après avoir étudié les grands modèles, l'enseignement de l'art industriel dans les plus larges proportions.

A la suite de l'Exposition de Londres en 1851, l'Angleterre avait eu le sentiment de son infériorité, dans cette partie de l'industrie qui relève plus particulièrement de l'art.

Le prince Albert eut le courage de signaler les causes de cette infériorité, et prit l'initiative de ces améliorations, qui en dix années devaient presque complètement changer la face des choses. L'Angleterre possède maintenant environ neuf cents sociétés dont la mission est de propager le sentiment de l'art et du goût. Ces sociétés libres comptent deux cent mille membres, qui mettent en mouvement plus de cent écoles d'art et plus de trois cents écoles pour l'industrie privée. La fondation du collège de South-Kensington, et particulièrement du musée immense qui lui a été annexé est un des exemples que l'on doit citer et tendre à imiter. Des musées de toutes sortes ont été créés pour chaque industrie, avec enseignement public et exposition spéciale pour chaque genre de fabrication. Puis, à ce déploiement d'efforts est venu s'ajouter l'achat de livres, de dessins, de gravures qui peuvent servir de modèles et de renseignements.

Il faut que la France sache reconnaître ce que l'Angleterre s'avouait il y a près de trente ans, c'est que son enseignement de l'art industriel qui a déjà été réformé depuis peu d'années, doit être encore perfectionné et surtout très étendu.

La création du Musée des arts rétrospectifs, celle de l'Exposition permanente des arts décoratifs, l'École pratique des arts décoratifs, sont des innovations trop récentes pour qu'on puisse les juger; ces tentatives méritent que l'on se préoccupe de faire sortir de l'insouciance si regrettable, en ces matières, le fabricant du dix-neuvième siècle.

Néanmoins nous devons reconnaître que la cristallerie de Baccarat, qui a

fait des progrès depuis 1867, a envoyé à l'Exposition de 1878 de très beaux spécimens de sa fabrication ; mais l'éclectisme qui a paru présider à la réunion d'objets d'un goût discutable, et d'autres fort beaux (fig. 310, 311, 312, 313) auxquels on semblait attacher la même valeur, laissait deviner qu'il manque



Fig. 311.

Fig. 310. Fig. 312. Fig. 313.

encore à Baccarat une direction ferme dans la voie de l'art. Ainsi pensait également le rapporteur de la classe des cristaux et de la verrerie, à l'Exposition de 1878. Nous n'avons pas remarqué de différence entre les modèles de Baccarat 1867 et ceux de 1878 (1). Aussi à cette même Exposition avons-nous admiré les produits en cristal mince de la cristallerie de Clichy. Pour ces objets légers, de formes gracieuses, inspirés des plus beaux spécimens que Venise et la Renaissance nous ait légués, l'harmonie entre la forme et la matière, combinée avec les convenances de l'usage, semblait être la juste préoccupation du fabricant. La cristallerie de Pantin offrait également quelques spécimens assez gracieux (fig. 314).

(1) En 1889, Baccarat n'avait pas d'exposition.

Mais les cristaux de M. Webb, de M. Powell, maintiennent dignement la répu-

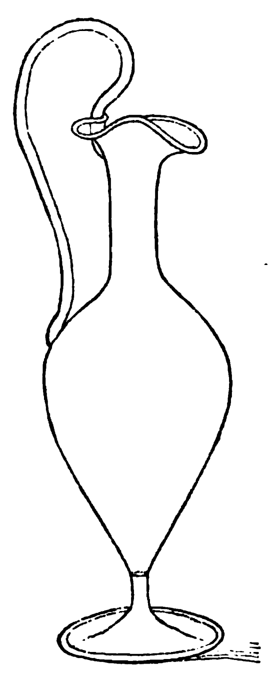


Fig. 314.

tation des fabricants anglais, au point de vue de la taille, du style, de la gravure, de la forme et de l'art décoratif (1).

(1) MM. Webb et fils ont exposé une quantité de beaux objets en cristal, mais le centre d'attraction, c'est le vase dans le style du *Vase Portland*, appelé le *vase Dennis*.

Les figures 315 et 316 représentent des obj ts d'une beauté frappante, tels que carafes, aiguières, cruches, etc., qui donnent une idée de la gravure sur cristal de MM. Webb.

Un vase, gravé en relief par M. Kuy, est une merveille d'exécution ; il n'a que neuf pouces de haut, et on l'estime 1500 schillings. La gravure du corps du vase est en partie claire et en partie dépolie ; le relief est tel que, quoique gravé à la roue, on pourrait supposer qu'il a été ciselé.

Une carafe (fig. 317), gravée par le même artiste, représentant la frise du Parthénon, en taille demi-claire, est fort belle, on l'estime 2250 shillings.

Il y avait encore d'autres articles en cristal, gravé en surface morte et claire par ces artistes :

Un plat représentant Vénus Aphrodite, un chef-d'œuvre, estimé 150 shillings.

Un vase Renaissance avec sujets classiques, anses et pieds gravés, estimé 1000 shillings. On a pu observer sur ce vase de splendides effets produits par des points brillants sur la surface mate.

La figure 318 fait partie d'un service, style Renaissance italienne, elle est d'un dessin fini et très compliqué. Toute la surface, et même l'anse, sont admirablement gravées. Les principaux dessins représentent quatre Cupidons en différentes attitudes, de gracieux oiseaux, de mignonnes guirlandes.

La figure 319, une carafe avec des garnitures pesamment coupées en bambou spiralé et *taille en diamant ;* des garnitures brillantes bleu et œillet sur cristal, taille en relief, avec bosses projetées, sur lesquelles on a laissé du verre coloré, et qui ont été ensuite taillées en diamants sur leurs faces.

Il y a aussi des carafes avec des bouchons taillés en prismes, qui produisent de charmants jeux de couleurs.

Quelques-unes de ces pièces sont montées sur des pieds en métal doré.

Figures 320 et 321, admirables gravures, attestant la plus grande habileté et le meilleur goût

La substitution de la houille au bois n'ayant pas été adoptée en France



Fig. 326.

comme elle le fut en Angleterre en 1635, pour le chauffage du verre silico-

de dessins, mais sur une cruche de forme antique et laide. L'artiste, M. O'Fallon, avait tout à gagner, en exerçant son talent sur des objets de forme meilleure, ses gravures eussent paru infiniment plus belles.

MM. Green et Nephew ont exposé des objets en cristal gravé, tels que les représentent les figures 322 et 323, ces carafes sont admirablement gravées.

La maison Hodgeth, Richardson et fils, de Stourbridge, a, comme la maison Webbs, d'admi-

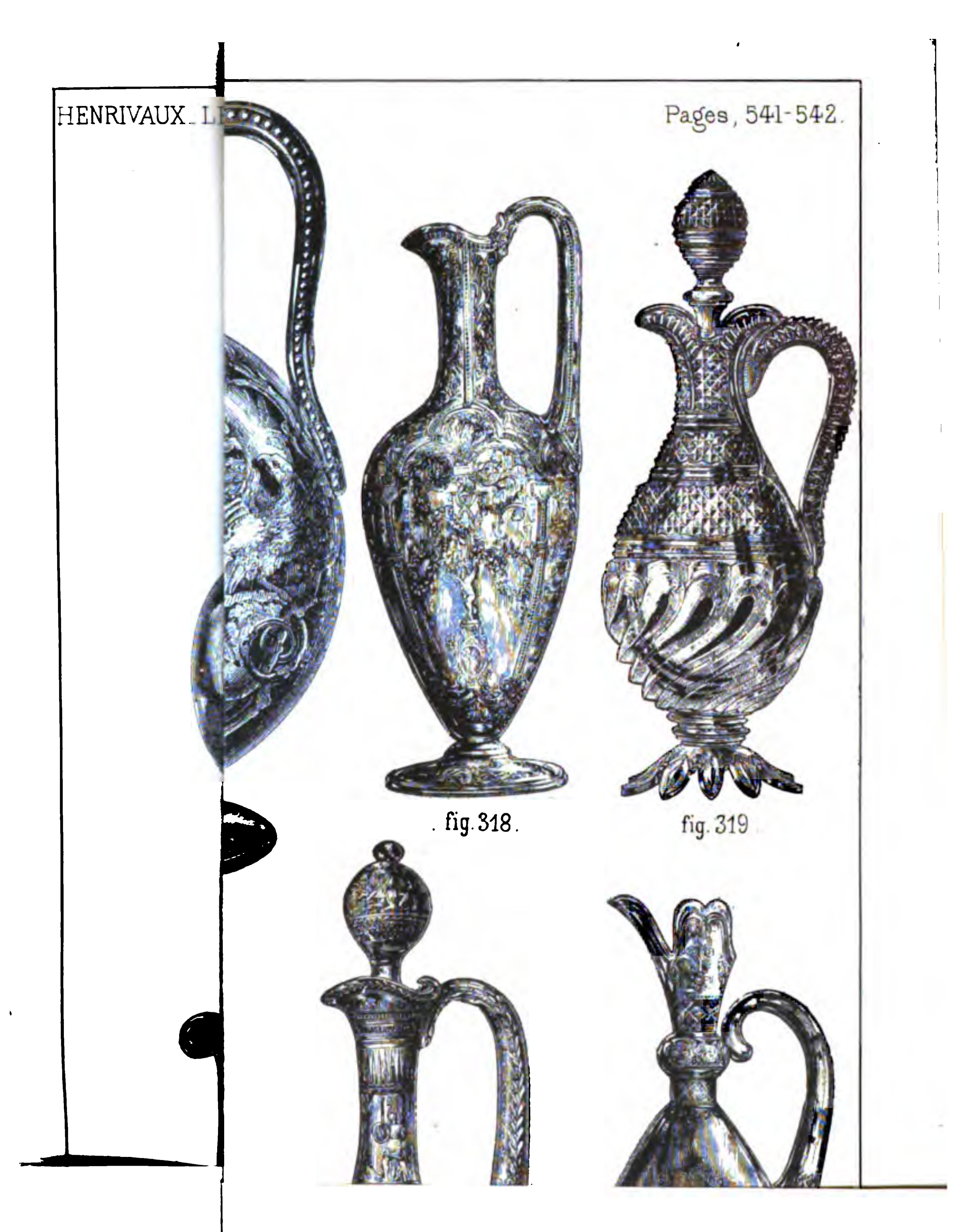


fig. 318.

fig. 319

alcalin, on n'eut pas les mêmes raisons d'y adopter la fabrication du verre plombeux. Aussi cette fabrication ne fut-elle appliquée en France, à Saint-Cloud, qu'en 1784, par M. Lambert, qui transporta ensuite cette fabrication près d'Autun où l'on fabriqua le cristal jusqu'en 1827 ; cette fabrication était copiée sur les procédés anglais à pots couverts.

En 1790, on commença également à fabriquer le cristal à Saint-Louis, mais là la fonte du cristal était obtenue dans des pots couverts chauffés au bois. Il appartenait à un des représentants les plus distingués de la cristallerie française, M. Didierjean, l'habile directeur de Saint-Louis, de fondre le cristal en pots découverts chauffés avec les gaz de la houille, en modifiant légèrement le four Siemens pour cette application.

En 1800, D'Artigues fonde une cristallerie à Vonèche (Belgique). Après les traités de 1815, D'Artigues, sous la promesse d'établir une cristallèrie en France, obtient l'entrée en franchise de ces cristaux en France, et achete à Baccarat une verrerie qu'il transforme en cristallerie. En 1823, cette cristallerie achetée par MM. Godard et Cie, administrée successivement par MM. Godard, Toussaint, de Fontenay, Michaut, est devenue l'usine la plus importante pour ce genre de fabrication.

Fabrication du cristal. — Le *cristal* est un silicate de potasse et de plomb.

Ce silicate double porte le nom de cristal pour les vases d'ornement, les objets de table, les lustres, candélabres, verreries de luxe offrant des moulures, des facettes, des gravures.

Le cristal employé pour la fabrication des instruments d'optique est plus spécialement désigné sous le nom de *flint-glass*, et celui qui imite les pierres fines porte le nom de *strass.*

Les matières qui servent à préparer le cristal, doivent être d'une grande pureté, il faut que la silice soit autant que possible exempte de fer et de matières organiques : les sables d'Étampes, de Fontainebleau, de Nemours, sont employés de préférence dans les cristalleries. On recherche généralement le sable fin qui permet d'obtenir un mélange plus intime avec les fondants ; cependant plusieurs cristalleries achètent à Nemours et à Fontainebleau des grès, qui, taillés sur place, sont expédiés sous forme de cubes de 0m, 20 à 0m, 30 de côtés ; arrivés aux cristalleries, ces grès sont *étonnés*, pilés, et mélangés, après avoir été réduits en poudre ; cette manière de faire permet d'obtenir un sable sans veines ferrugineuses.

Pour reconnaître la pureté du sable qui doit être employé dans la fabrication du cristal, le mieux est de le calciner au contact de l'air à une haute température ; pendant cette calcination, le fer contenu dans le sable passe à l'état de

rables articles en cristal ciselé, bas-relief en blanc sur fond sombre, entre autres une paire de vases à deux anses représentant Vénus (fig 324) et un autre vase représentant Cupidon (fig. 325).

Un beau vase étrusque (fig. 12), avec anses en verre tressé, finement gravé. Les gravures à l'acide y sont particulièrement belles et exécutées avec talent (1).

A l'Exposition universelle de 1889 nous avons constaté des améliorations qui consistaient

(1) Ces gravures sont extraites du rapport de M. C. Colné, rapporteur pour les États-Unis à l'Exposition de 1878.

peroxyde, et produit une coloration rougeâtre : le sable le plus pur est celui qui se colore le moins : il est du reste presque impossible de trouver des sables qui ne contiennent pas de traces de fer.

Le carbonate de potasse demande une purification préalable, qui consiste à faire dissoudre ce sel dans l'eau et à le débarrasser, par cristallisation, des sulfates et des chlorures qu'il peut contenir. Le carbonate de potasse, étant plus soluble que les sels précédents, reste dans les eaux mères ; on l'en retire en évaporant la liqueur à sec.

On ne doit employer dans la fabrication du cristal que des vases et des instruments de fer ; les objets de cuivre seraient attaqués par la potasse et coloreraient le cristal en vert bleuâtre, il est bon de nickeler les outils.

On a cherché en vain jusqu'à présent à faire du cristal incolore en remplaçant le carbonate de potasse par le carbonate de soude ; ce dernier sel donne toujours à la masse une teinte verdâtre.

Les cristalleries françaises emploient principalement la potasse provenant des résidus du travail des betteraves, que l'on nomme potasse indigène. Elles y mélangent des potasses de Toscane ou de Hongrie. Les potasses indigènes les

plutôt dans la façon dont les teintes de verres et cristaux ont été harmonisées que dans l'application de nuances nouvelles.

On a pu obtenir des effets nouveaux par la dissémination de verres pulvérisés de diverses grosseurs et de teintes variées dans l'épaisseur de la pièce de verre ; ce mode de décoration imaginé par M. Rousseau lui a permis d'imiter les pierres gemmes que l'on trouve dans la nature sous les formes les plus variées et les plus brillantes.

M. Rousseau-Léveillé s'est attaché également à perfectionner la matière et les formes de cristaux de luxe. Quelques-unes de ces pièces aux profils élégants et aux riches montures d'or et d'argent étaient de véritables œuvres d'art qui méritent d'être signalées.

M. Léveillé s'inspirant de l'art japonais et combinant l'emploi des acides avec la molette du graveur a pu présenter à l'Exposition de 1889 certaines pièces originales qui montrent le parti qu'on peut tirer de l'assemblage des différentes espèces de verre ou cristaux travaillées après coup.

Ainsi par exemple nous citerons un grand vase avec poissons, en verre neutre, avec coloration d'oxyde d'urane et de cuivre à l'intérieur, et une doublure rouge brique à l'extérieur ; cette doublure a été retournée deux fois sur elle-même pour permettre à la gravure de produire des tons différents.

Les pièces en imitation de sardoines foncées, taillées à rinceaux avec colorations extérieures étaient également très remarquées, ainsi que des agates avec bord râpé, une coupe couleur fleur de pêcher et un vase méplat avec tête renaissance posée sur feuille d'or.

Les objets nouveaux comme décoration indiquent que cet art peut encore se développer, « s'affiner » en donnant au verre comme au cristal toute leur valeur comme forme et comme coloration, en arrivant à supprimer complètement la coloration extérieure — or ou émail — cela en combinant les colorations, les graduant et laissant au verre toute sa transparence qui en est la qualité essentielle et la plus précieuse.

Les procédés de taille et de gravure se sont perfectionnés et à côté des moyens mécaniques qui permettent de tailler à la fois à côtes plates et à côtes creuses, on trouve maintenant les tailles les plus fines, les plus régulières, les plus brillantes, faites à la main et qui sur des verres ou cristaux en couches superposées et diversement colorées produisent les effets artistiques les plus agréables, et sont comparables aux camées en pierre dure.

Des spécimens de ce genre de taille, ont été exposés en 1889 par MM. Gallé (de Nancy), Reyen, Léveillé-Rousseau, Landier et Houdaille, Thomas et Sons.

Les cristaux de MM. Webb sont parfaits comme blancheur et comme taille. Parmi les verres diversement colorés — couches superposées — exposés par ces messieurs, nous citerons notamment une coupe, laissant apparaître en nuance claire, jaunâtre sur fond sombre, un décor très savamment étudié.

Nous la reproduisons (fig. 327) tout en faisant remarquer qu'une décoration plus sobre eût donné à la pièce exposée par MM. Webb, une valeur artistique plus considérable. Nous repro-

mieux purifiées contiennent encore 4 à 5 pour 100 de soude; pour les amener à une proportion moindre de soude on s'exposerait à perdre, dans cette purification, une quantité notable de carbonate de potasse, ce qui en élèverait le prix dans une proportion trop forte comparativement aux avantages qui en résulteraient.

La litharge du commerce ne peut être employée dans la fabrication du cristal, parce qu'elle contient des oxydes de cuivre et de fer, qui coloreraient la masse vitreuse. On la remplace par le minium qui est plus pur.

On croit généralement que le minium est employé dans les cristalleries parce que l'excès d'oxygène contenu dans cet oxyde sert à brûler les matières organiques qui se trouvent dans le carbonate de potasse; mais on peut expliquer autrement le rôle que joue le minium dans la fabrication du cristal et la préférence qu'on lui donne sur la litharge.

Le cristal contient toujours du carbonate de potasse. Le plomb, qui se trouve souvent à l'état de liberté dans les litharges, peut décomposer, sous l'influence de la chaleur, le carbonate de potasse contenu dans le cristal et pro-

duisons également un plateau (fig. 328) obtenu par un procédé identique et où la couleur seule du décor diffère, tantôt ivoirine, tantôt orangée ou bleue,

M. Reyen avait une exposition particulièrement remarquable dans laquelle figurait un vitrail





Fig. 327 et 328.

représentant une nymphe courant sur des rochers, deux portraits de famille, deux sujets Téniers, un vase forme Louis XV, dont le fond en verre opalin est parsemé de place en place d'émaux de couleurs variées que l'enlèvement de la couche générale brune laisse voir.

MM. Davis, Collamore et Cie, de New-York, nous ont fait voir des cristaux d'une pureté remarquable taillés en pointes de diamant. Cette taille nous remet en présence de ces cristaux si en faveur en France, de 1825 à 1830, et dont l'effet est sinon artistique, du moins tout à fait décoratif, surtout quand les objets ainsi décorés sont examinés à la lumière artificielle.

Depuis à l'Exposition de Bordeaux (1895) nous avons eu à juger — comme membre du Jury — l'exposition des beaux objets examinés dans la vitrine de M. M. Daum. Nous avons admiré et fait récompenser ces produits.

Nous avons aussi admiré le fini, l'aspect satisfaisant des verreries de couleurs, les émaillages, le prix modique, malgré le côté artistique, des produits de M. Legras, de Saint-Denis.

duire des bulles d'oxyde de carbone qui, en se renouvelant sans cesse dans la masse vitreuse, rendent l'affinage du cristal très difficile.

Nous pensons donc que, si l'on emploie le minium dans la fabrication du cristal de préférence à la litharge, c'est : 1° parce que le minium est plus pur que la litharge ; 2° parce qu'il ne contient jamais de plomb métallique qui peut agir sur le carbonate de potasse contenu dans le cristal et s'opposer à l'affinage.

Le plomb qui sert à faire le minium doit être aussi pur que possible ; car tous les autres métaux, et principalement le cuivre, coloreraient le cristal.

On fabrique généralement le cristal dans des pots couverts, on peut fabriquer le cristal dans des pots découverts en se servant de bois comme combustible, même de houille, ou plutôt du gaz de houille, comme on le pratique à Saint-Louis. A Baccarat, on fabrique le cristal à pots couverts dans des fours Boëtius.

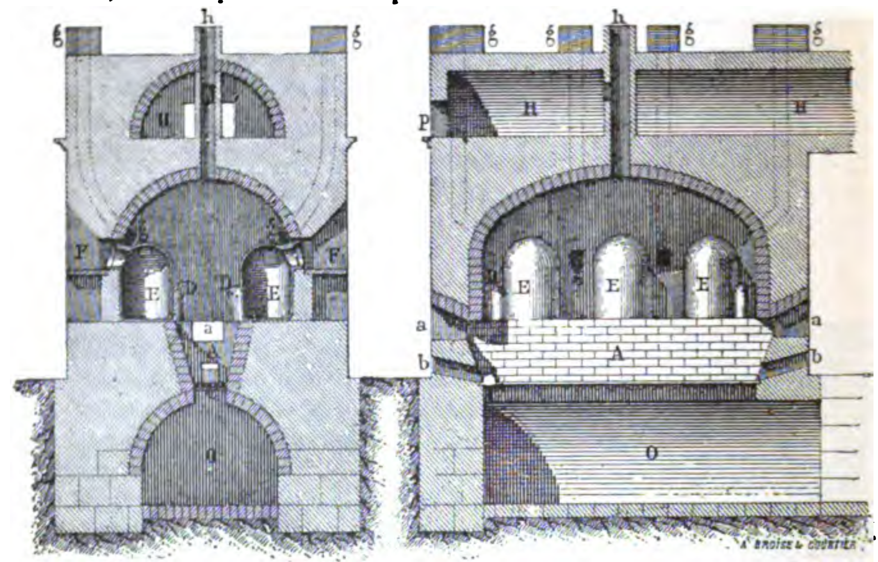


Fig. 329.

E, E, creusets couverts ; D, D, sièges qui viennent joindre la grille par un talus ; F, F, ouvreaux ; A, foyer ; *a*, ouverture ; C, grille ; D, cendrier ; *b*, ouverture servant à nettoyer la grille ; HH, chambre à recuire ; *p*, ouvertures par lesquelles les pièces sont introduites dans les chambres à recuire ; *g*, *g*, trous par lesquels passe la flamme du four qui a échauffé les chambres et galeries à recuire ; *h*, ouverture établissant la communication du fourneau avec la cheminée.

Le dosage des matières qui servent à la fabrication du cristal, varie avec la nature du combustible que l'on emploie et la température que donne le four. Plus cette température est élevée, moins on a de fondant à ajouter ; il en résulte d'ailleurs de l'économie dans l'opération, et une amélioration dans le produit, car les fondants sont les corps véritablement dispendieux dans cette fabrication ; et, toutes choses égales d'ailleurs, le cristal qui contient le plus de silice est le plus blanc et surtout le plus éclatant. Une construction de four bien entendue, des combustibles de bonne qualité, sont les éléments essentiels d'une bonne fabrication. On ne doit pas chercher, dans la préparation du cristal, à obtenir une fusion

trop rapide : si, par exemple, la masse était complètement fondue au bout de quinze à dix-huit heures, il serait convenable de la maintenir encore cinq ou six heures en fusion, afin de laisser le cristal s'affiner et se débarrasser des bulles de gaz qui se trouvent retenues dans la masse.

M. Monot, de Pantin, emploie des fours dont on trouvera le dessin et la description (pl. XXIII), dans lesquels on dépense environ 1kg,500 de charbon pour la fabrication de 1 kilogramme de cristal.

Four de J. Pellatt-Rickman. — Le four de M. J. Pellatt-Rickman a des analogies avec le four Boëtius ; ce système a procuré d'importantes économies dans sa construction et dans la dépense de combustible.

La figure 125 montre une coupe verticale de ce four suivant la ligne A-B, et la figure 126 une coupe horizontale suivant la ligne C-D.

Le générateur à gaz consiste en une chambre remplie de combustible, sous laquelle se trouve une chambre à gaz ; sous celle-ci est placé le foyer, avec carneaux pour les gaz et pour l'air. Les trois chambres communiquent verticalement, de sorte que le combustible tombe dans la chambre à gaz et que le coke formé dans cette dernière tombe lui-même dans le foyer.

A est la chambre où le combustible est enfourné ; B est la chambre où le gaz se forme, C est la grille ; D la chambre de combustion, dans laquelle le gaz et l'air se mélangent ; E sont les carneaux conduisant à la chambre de combustion ; F est la gueule du fourneau ; G une porte permettant de nettoyer la grille ; H le cendrier ; I l'ouverture servant à introduire le combustible ; K sont les carneaux du four conduisant à chaque pot ; L est le carneau général reliant tous les précédents ; B′ sont les pots ; N les carneaux sous les pots et E′ la cheminée.

Le gaz distille en B, descend et rencontre l'air qui pénètre à travers la grille, brûle en partie et entre en pleine combustion en D, mélangé avec l'air qui s'est introduit par E et F. Les conduits d'air sont maintenus chauffés au rouge, de sorte que la chambre de combustion est alimentée par de l'air chauffé à une haute température. Si l'on a besoin dans le four d'une flamme réductrice, les conduits d'air sont fermés en totalité ou en partie. Avec la houille employée ordinairement dans les chaudières, le nettoyage de la grille en G a lieu au bout de dix à douze heures.

Ce fourneau a fonctionné avec succès à Londres depuis quelque temps ; le système est fumivore, facile à desservir et la température est réglée avec précision. Pour un four à six pots, chacune des grilles a 0m,50 sur 0m,60 et brûle environ 0kg,7 de houille par décimètre carré et par heure ; chaque foyer renferme environ 100 kilogrammes de houille et doit être alimenté toutes les cinq heures.

Les dosages qui sont le plus généralement employés pour la fabrication du cristal, sont les suivants :

FOURS A LA HOUILLE ET A POTS COUVERTS.

Sable pur......................	300
Minium......................	200
Carbonate de potasse purifié.....	90 à 95

FOURS CHAUFFES AU BOIS.

Sable pur	300	
Minium	200	
Carbonate de potasse purifié	100	
Groisil	300	
Oxyde de manganèse	0,45	au
Acide arsénieux	0,60	besoin.

D'autres matières interviennent quelquefois dans la fabrication du cristal. MM. Maës et Clémandot ont montré, il y a plusieurs années, que l'acide borique peut jouer un rôle fort utile dans la fabrication des verres de luxe.

La présence de ce fondant permet, en effet, de modifier profondément la nature du cristal; l'oxyde de zinc peut se substituer à l'oxyde de plomb; la soude, la chaux ou la baryte deviennent aptes à remplacer la potasse.

Les borosilicates de zinc et de potasse, de potasse et de baryte, de soude et de zinc, fabriqués par MM. Maës et Clémandot, soit sous forme de pièces de gobeleterie, soit pour verres d'optique, sont remarquables par leur éclat, par leur limpidité et par leur blancheur; ces borosilicates doivent leur éclat, leur transparence, leur dureté à la proportion affaiblie de la soude ou de la potasse, dont l'excès rend les verres ordinaires tendres, nébuleux et hygrométriques; mais le prix trop élevé de l'acide borique ne permet pas que cette substance puisse servir couramment à la fabrication des verres.

La baryte a été employée dans plusieurs verreries sous forme de carbonate artificiel, et avec les moyens de fabrication actuels nous nous étonnons que ce composé ne soit pas d'un usage plus habituel, la baryte remplaçant ainsi en partie, dans certains cas, la potasse ou la soude.

M. Lamy, à qui l'on doit la découverte du *thallium*, a employé ce métal, métal paradoxal suivant l'expression de M. Dumas, — à cause de ses propriétés physiques qui en font un métal similaire du plomb, et de ses propriétés chimiques qui le placent à côté du potassium, — M. Lamy a remplacé dans le cristal, la potasse par l'oxyde de thallium, qui, possédant une densité plus grande, devait donner un cristal plus lourd, plus résistant que le cristal ordinaire, sans être obligé d'augmenter la proportion d'oxyde de plomb. On a obtenu ainsi un cristal plus lourd, ayant un pouvoir dispersit plus considérable, étant transparent, inaltérable, en un mot un cristal nouveau.

M. Feil a obtenu également un verre à base de *didyme*, incolore, donnant au spectroscope les raies d'absorption qui caractérisent ce métal.

Fonte du cristal. — Les proportions de matières premières adoptées pour la fabrication du cristal sont généralement les suivantes :

Sable 3 parties, en poids, minium 2, potasse 1.

En moyenne on peut adopter les proportions suivantes, y compris le corps décolorant et les fragments de cristal déjà obtenu :

Sable	100
Minium	67
Potasse pure	30
Azotate de potasse	3 à 4
Peroxyde de manganèse	0,025
Débris de cristal	160

En Allemagne, on a essayé de produire un cristal d'un prix inférieur avec les proportions :

Sable	100
Minium	37
Chaux	5
Potasse	25

Voici la composition de divers échantillons de cristal :

	Silice.	Oxyde de plomb.	Chaux.	Potasse.	Soude.	Alumine.	Oxyde de fer.	Manganèse.	Analystes.
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cristal anglais....	61,0	33,0	»	6,0	»	?	?	»	Berthier.
—	51,93	33,28	»	13,67	»	»	»	»	Faraday.
Cristal (Newcastle).	51,4	37,4	»	9,4	»	»	2,0	»	Berthier.
Cristal (Londres)..	59,2	28,2	»	9,0	»	»	1,4	»	Id.
Vonèche	56,0	34,4	»	6,6	»	»	1,0	»	Id.
Baccarat.........	51,1	38,3	»	7,6	1,7	0,5	0,3	0,5	Salvétat.
Baccarat.........	50,18	38,11	»	11,22	»	»	0,44	»	Benrath.
Choisy...........	54,2	34,6	0,4	9,2	0,9	0,5	»	»	Salvétat.

Les déchets de cristal provenant des cannes ne peuvent être employés qu'après

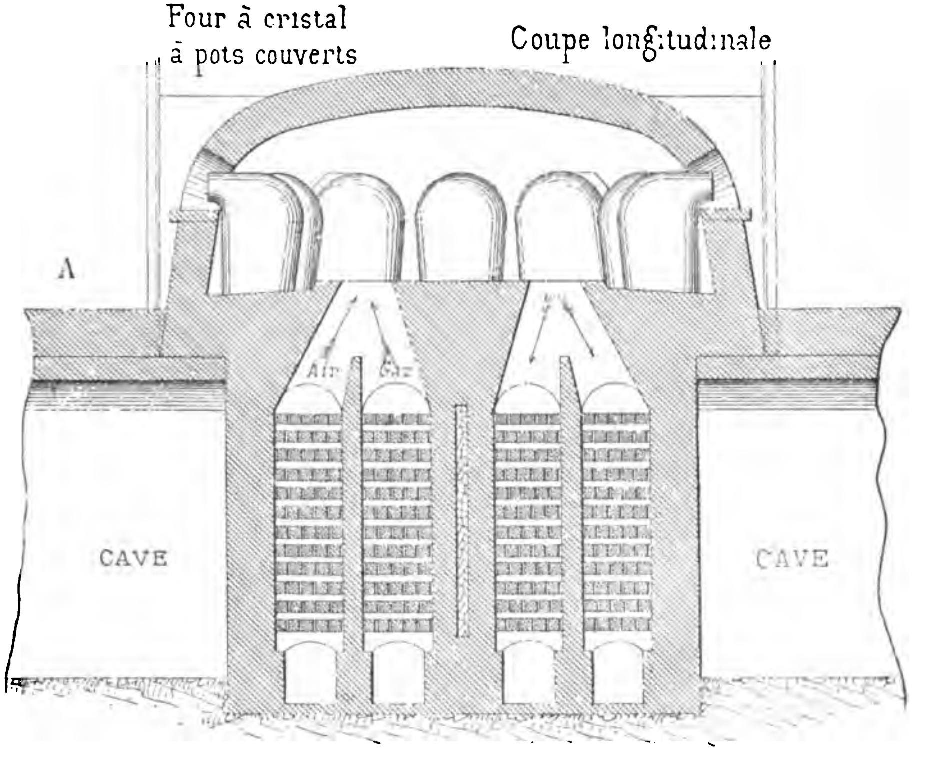


FIG. 330.

avoir été triés, et pour peu qu'il y ait le moindre doute sur la présence de pailles de fer, on devra laver à l'acide sulfurique étendu, le cristal suspect.

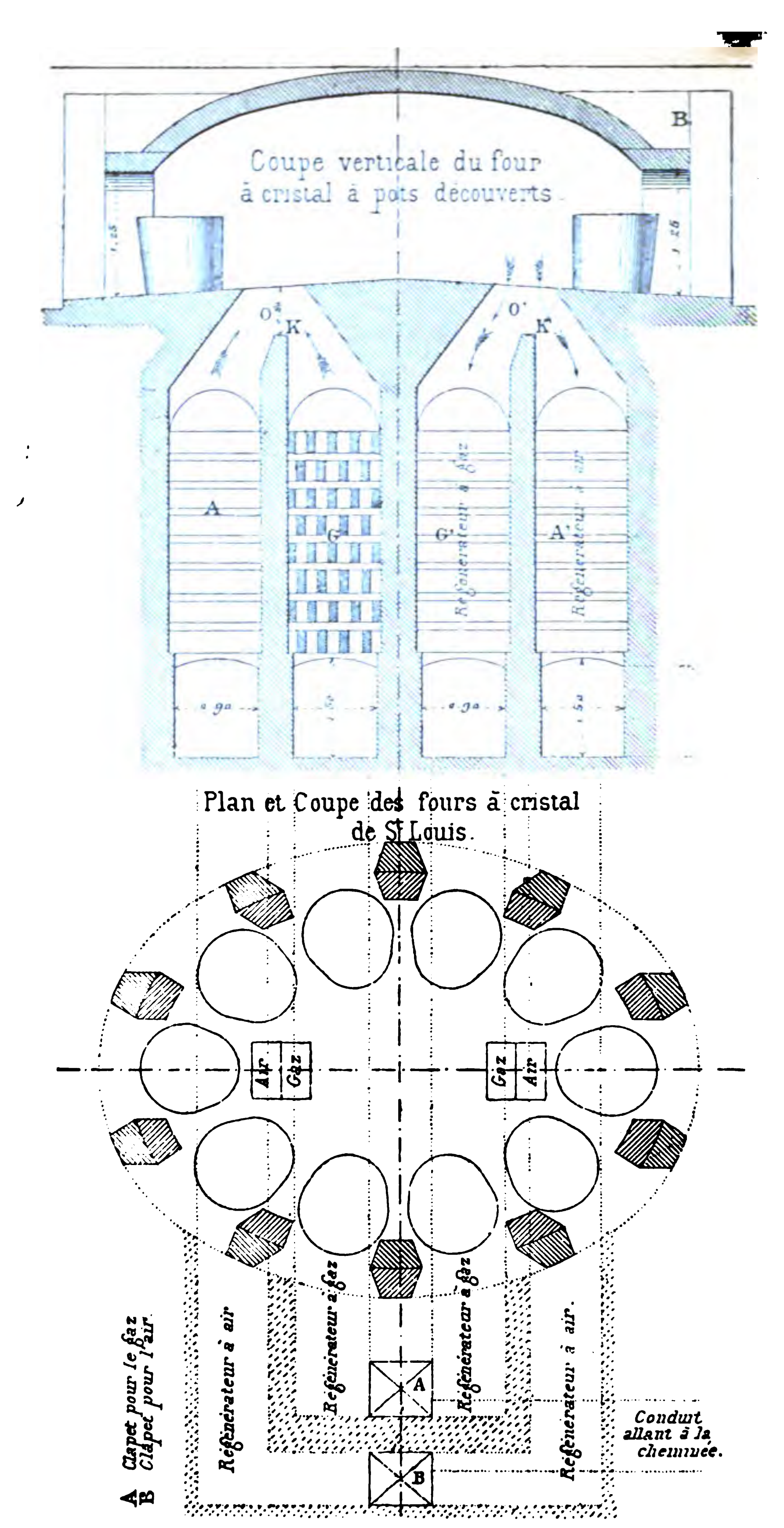

Coupe verticale du four
à cristal à pots découverts.
B.
O²
K
O'
K'
A
G
G'
A'
Régénérateur à gaz
Régénérateur à air
Plan et Coupe des fours à cristal
de S[t] Louis.
Air
Gaz
Gaz
Air
A Clapet pour le gaz
B Clapet pour l'air.
Régénérateur à air
Régénérateur à gaz
Régénérateur à gaz
Régénérateur à air.
A
B
Conduit
allant à la
cheminée.

Fig. 331, 332.

Comme nous l'avons dit ci-dessus, on opère la fusion du cristal dans des pots couverts et dans des fours chauffés à la houille. En 1865, M. Didierjean, directeur de la cristallerie de Saint-Louis, est arrivé à une solution complète du problème délicat de la fabrication du cristal avec la houille et à pots découverts. La fonte et le travail s'opèrent exactement comme dans les anciens fours au bois, et cela sans avoir à craindre aucune altération dans la beauté du cristal.

La houille est d'abord transformée en gaz, et le four chauffé par le système Siemens. On a pu obtenir ainsi : 1° une production de gaz régulière ; 2° empêcher dans le four le contact des gaz réducteurs avec les matières placées dans les creusets. Pour ce dernier point, il a suffi à M. Didierjean de faire une application bien raisonnée du système, c'est-à-dire de faire arriver les gaz dans le four par le régénérateur intérieur, comme l'indiquent les figures 330, 331, et l'air

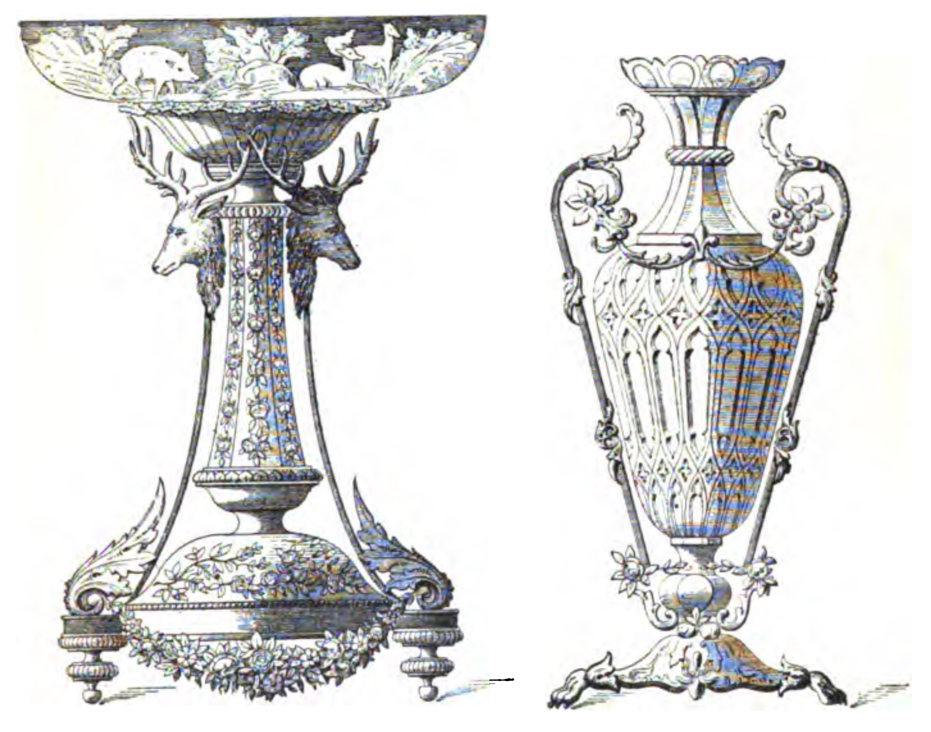


Fig. 332 *bis*. Fig. 332 *ter*.

par le régénérateur extérieur. La cloison qui sépare le régénérateur du gaz de celui de l'air, ne va pas jusqu'au niveau du siège (environ $0^m,80$ en dessous) ; de sorte que la combustion commence déjà dans l'ouverture O et se termine dans le four. L'appel des gaz brûlés par la cheminée se faisant par l'ouverture O, et l'air se trouvant à l'extérieur, les creusets sont enveloppés d'une atmosphère oxydante. En même temps, il est prudent de donner à la voûte une assez grande hauteur au-dessus des creusets, afin de former au-dessus des matières une sorte de coussin d'acide carbonique pour le cas où il arrive dans le four une trop grande affluence de gaz réducteurs.

On a reproché à cette manière de fondre le cristal de donner des produits un peu moins blancs que ceux obtenus dans les pots couverts ; il nous a été donné, il y a quelques années, de comparer les cristaux de Saint-Louis à ceux de Baccarat et nous avouons n'avoir point constaté de différence de teinte, mais nous avons constaté la forte densité du cristal de Saint-Louis (3,37), densité due à sa richesse en plomb, qui doit augmenter son pouvoir de réfraction.

Les cristalleries de Saint-Louis produisent également des objets de formes gracieuses, cristaux gravés à la roue, à l'acide (fig. 332 *bis*), cristaux avec ornements à reliefs (fig. 332 *ter*).

On fabrique également le cristal en Amérique, et les produits de cette branche de l'industrie américaine sont comparables, pour la blancheur et l'éclat, aux cristaux anglais. Cela s'explique facilement quand on songe que le minium et même la potasse raffinée employés en Amérique sont de provenance anglaise. Le sable employé est extrait en Amérique, il est très pur. Les formes et la taille sont les mêmes qu'en Angleterre.

On fabrique généralement trois sortes de cristal. Dans la seconde et la troisième qualité, le minium est en moins forte proportion, et la soude remplace la potasse. Quelques fabricants ajoutent du borax à la première qualité de cristal.

Voici des compositions employées pour les trois qualités de cristal, ces quantités correspondent à la charge d'un creuset :

	1re qualité.	2e qualité.	3e qualité.
	(1)		
Sable	272,154	272,154	272,154
Minium	181,436	136,077	45,359
Carbonate de potasse	113,397	113,397	22,680
Carbonate de soude	»	79,378	79,380
Nitrate de soude	22,680	27,215	»
Borax	27,215	»	»
Peroxyde de manganèse	0,269	0,425 à 0,510	»

Le cristal anglais contient généralement moins de plomb, et un peu plus de potasse que le cristal français.

Travail du cristal. — Le cristal chaud, de même que le verre, mis en contact avec des corps également chauds, s'y attache d'autant plus fortement que la température est plus ou moins élevée de part et d'autre ; par là on parvient à le cueillir dans les creusets avec la canne ou avec les pontils. Grâce à cette propriété on forme des vases de plusieurs pièces rapportées, et on tient ainsi les pièces de verre pour les façonner, les tourner, au bout du pontil.

Le travail de la gobeletterie de cristal ne diffère guère de celui du verre soufflé, de la gobeletterie de verre, de la fabrication du verre de Bohême. Dans la gobeletterie de cristal, presque toutes les pièces creuses sont *empontées* ; leurs bords sont, par suite, ramollis au feu. Le travail est d'ailleurs rendu plus facile, tant

(1) Livre anglaise = 453 gr, 59 (ces chiffres sont des conversions de quantités exprimées en *livres*) ; once = 28 gr, 35.

par suite de la plus grande fusibilité du cristal qu'à cause de sa résistance à la dévitrification, ce qui permet de réchauffer les pièces un plus grand nombre de fois.

Pour fabriquer un verre à pied de grandeur ordinaire, un verre de table, le cueilleur puise dans le creuset, à l'aide de la canne, la quantité de verre nécessaire pour faire la paraison de la coupe (1, fig. 333) et la passe au carreur qui donne à cette paraison la forme voulue (2); celui-ci le remet à l'un des souffleurs chargé d'y appliquer la jambe (3). La jambe grossie, la pièce passe entre les mains d'un autre souffleur dont l'office est d'y adapter le pied, en faisant tourner sa canne déposée sur le *bave* et pressant le verre à l'aide d'une pince à ressort (4). Pendant ce temps le second souffleur a fait, à l'aide d'une autre canne, une boule creuse à parois relativement épaisses ; il la fixe au pied comme l'indique le n° 5 et la sépare de sa canne à l'aide de ciseaux. On réchauffe cette portion de verre destinée à faire le pied, et l'ouvreur introduit une pince à étaler à l'intérieur de la portion creuse et lui donne la forme plane (n° 6), à l'aide de la palette. En tournant rapidement la canne, on coupe les bords du pied aux ciseaux, on les dresse à la pince et on les fond devant l'ouvreau du four (n° 7).



FIG. 332 *quater*.

On fixe alors, avec un peu de verre fondu, un pontil au milieu du pied (n° 8), et on coupe le verre attaché à la canne (n° 9) ; l'aide chauffe à l'ouvreau la portion antérieure du verre de façon à le ramollir ; l'ouvreur écarte alors les parois à l'aide d'une pince à élargir et de la palette, puis il enlève le bord à l'aide de ciseaux (n° 10), et fait fondre les bords par le gamin et l'évase (n° 11) ; après

cela il y met la dernière main et la pièce est portée à recuire (n° 12). Pour les

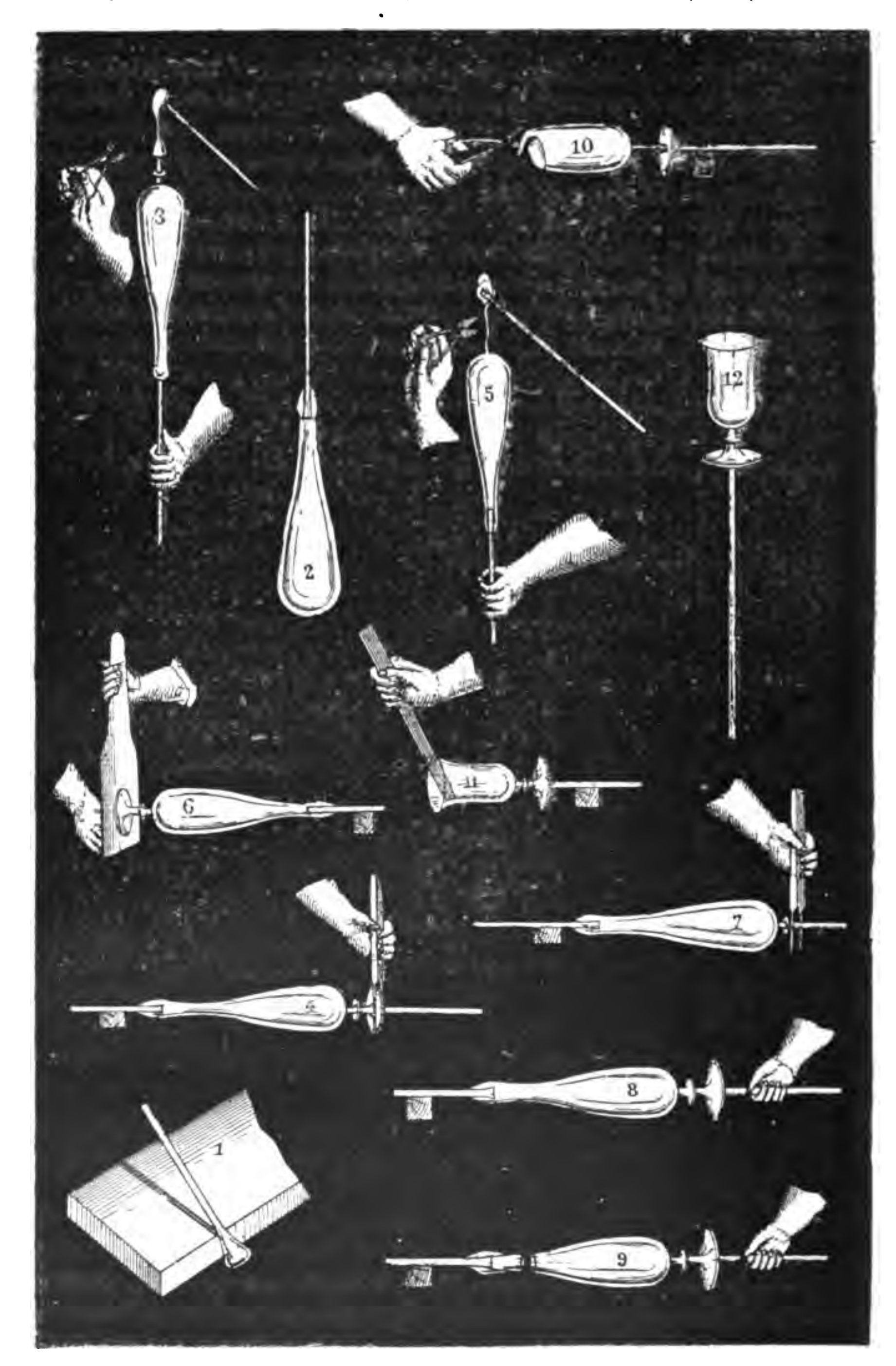


Fig. [illegible].

verres de Bohême les bords sont, en général, usés à la meule au lieu d'être arrondis au feu.

Pour fabriquer un pot à eau, la quantité de verre nécessaire étant cueillie et marbrée, on souffle pour faire la paraison, on introduit la partie dans le moule et on souffle de manière qu'elle en occupe toute la capacité (fig. 334). Le maître ouvrier, assis sur son banc, reçoit la canne, et, la faisant tourner, pare le bout du cylindre avec ses fers, en étrangle le col, ajoute le cordon de verre qui forme les nervures de la pièce.

Pendant ce travail, on a cueilli et marbré au bout d'un pontil un morceau de cristal, qu'on aplatit et qu'on soude au cylindre de manière à former le pied du vase (B, C). La pièce étant ainsi empontie, on la refroidit avec les fers dans sa partie supérieure; au moyen d'un coup sec, on la détache de la canne qui a servi à la souffler; fixée à son nouveau pontil, elle est réchauffée; son col est

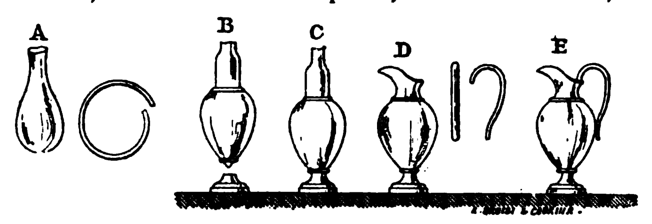


Fig. 334.

d'abord évasé, puis découpé avec des ciseaux (D). Les bords sont arrondis par une nouvelle chaude. Cependant, on a préparé un cylindre plein qu'on a légèrement aplati et courbé avec les pinces. Ce cylindre est posé et ajusté par le maître ouvrier, de manière à former l'anse du pot à eau (E), dont la façon se trouve ainsi terminée.

La pièce est enfin *dépontillée* et portée sur une fourche à l'arche à recuire.

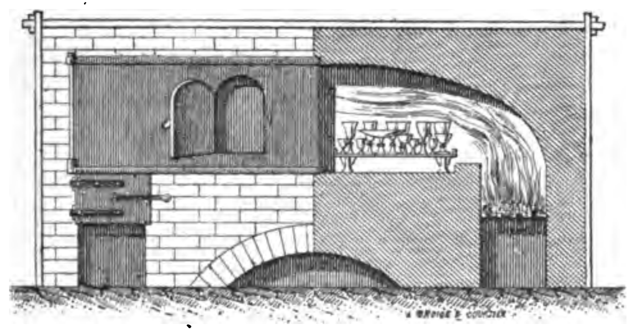


Fig. 335.

Cette arche (fig. 335) consiste ordinairement en une longue galerie qui reçoit une partie de la chaleur perdue du four de fusion, et qui en est comme un appendice.

L'ouverture par laquelle on introduit les pièces aussitôt qu'elles sont terminées est contiguë à la hotte du four de fusion. Ces pièces sont placées dans des caisses plates en tôle, qui cheminent lentement, une fois pleines, vers l'autre extrémité de l'arche, où elles arrivent froides et recuites.

Quand ces pièces à fabriquer doivent avoir des moulures, des cannelures ou autres ornements à la surface, on se sert de moules en fonte, en fer, en cuivre, en bois portant toutes ces empreintes; voici un des moules que l'on peut employer pour le moulage d'une carafe (fig. 336). Ces moules sont généralement en fonte, mais d'une fonte spéciale à grains serrés.

Pour que le cristal reçoive une empreinte bien nette, il faut souffler fortement et le piston Robinet est venu remplacer le souffle insuffisant de l'ouvrier. MM. Appert frères, les habiles fabricants de Clichy, se servent depuis 1878 de l'air comprimé : 1° pour le soufflage des pièces moulées de grand volume et de forte épaisseur ; 2° pour le soufflage de manchons de verre à vitres, et pour obtenir du verre en feuilles granulé sur une face (brevet de mai 1879) ; 3° pour

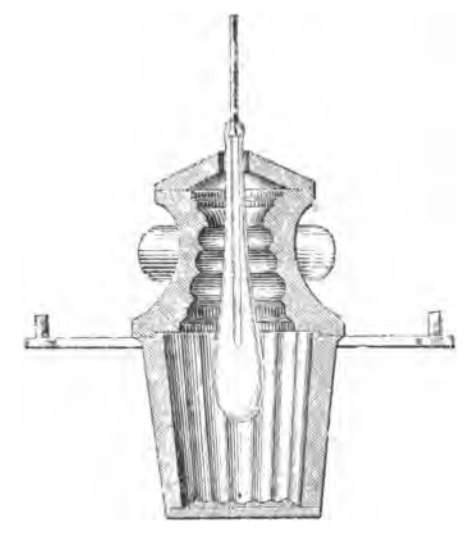


Fig. 336.

le soufflage de sphères minces, de grandes dimensions (1^{m},30 de diamètre et 1/2 à 1 millimètre d'épaisseur.

MM. Appert estiment qu'un ouvrier de gobeleterie insuffle, par journée de dix heures de travail, au moins 7000 litres d'air, c'est donc une application qui peut être considérée comme un bienfait pour les souffleurs verriers, et pour laquelle MM. Appert ont droit à la récompense créée par M. de Montyon.

Rebrûlage des verres. — Au lieu de rogner les verres au ciseau en les rebrûlant à l'ouvroir, on les coupe à la roue ou au diamant et on les rebrûle ensuite au chalumeau (chalumeau Schloesing). On rend pour ainsi dire mécanique une opération assez difficile faite jusqu'ici par l'ouvrier verrier. Baccarat, Pantin, Sèvres, ont adopté ce procédé de fabrication, qui, bien fait, donne des résultats économiques satisfaisants; nous avons constaté les résultats de ce mode d'opérer à l'Exposition de 1878.

Taille et polissage. — Ne fût-ce que pour effacer la marque du pontil, on peut dire que toutes les pièces sorties des mains des verriers passent à l'atelier de taille.

La taille est donc un perfectionnement, un complément du travail du verrier; un autre usage de la taille est de déterminer sur les pièces de cristal des facettes qui réfléchissent la lumière, des prismes qui la réfractent et qui donnent aux objets une richesse résultant des jeux de la lumière, nous pourrions presque



FIG. 337.

dire des *feux*. Cette taille, dont le goût semble revenir, a sa raison d'être ; elle est une sorte de brevet de valeur pour la matière employée ; le verre commun, en effet, la supporte mal et en paraît plus laid : le cristal, au contraire, par sa blancheur et sa densité devient encore plus brillant par la taille. Cette opération se décompose en diverses actions et s'exécute au moyen de meules pivotant avec rapidité et sur lesquelles on ajoute des poudres plus ou moins dures et plus ou moins fines. La première meule qui mord la pièce est une roue en fer sur

laquelle un entonnoir laisse tomber une bouillie de grès blanc. L'ouvrier tailleur, assis sur un tabouret devant la roue, tient dans ses mains la pièce à ébaucher qu'il présente à la roue, soit pour enlever les restes du bouton, soit pour déterminer les facettes.

Quand les facettes ont été déterminées par la roue de fer, on présente le vase à une meule de grès rouge, sur laquelle tombe un courant d'eau, et qui égalise le travail; la surface plane ainsi formée, quoique moins striée, est encore mate et terne. Pour lui rendre le poli, on la soumet à la friction d'une roue de bois couverte de pierre ponce, qui ramène la transparence et donne à la surface un poli passable. Pour terminer le travail, on se sert d'une roue de liège couverte de potée d'étain, et en dernier lieu de brosses circulaires en soies de porc qui pénètrent dans toutes les concavités des parties taillées et ne laissent aucune partie défectueuse. Ces façons se modifient suivant l'objet du travail; les meules sont de grandeur différente, et dans la taillerie comme dans le reste de l'établissement tout est disposé avec la plus intelligente méthode. Les bouchons qui doivent fermer les carafes, et par conséquent avoir le même diamètre que le goulot, sont travaillés verre sur verre de la manière suivante : le bouchon est fixé sur un bloc de bois et pivote à l'ouverture de la carafe sous un filet d'eau contenant du sable fin, les deux surfaces s'usent mutuellement et le bouchon s'enfonce peu à peu dans le goulot du vase qu'il doit servir à former

Quand les pièces sortent des mains des tailleurs, elles sont lavées, essuyées et séchées dans une étuve, examinées et portées soit au magasin d'emballage, soit aux ateliers de décoration. Pour la plupart d'entre elles, en effet, la main-d'œuvre est loin d'être terminée; elles doivent être les unes gravées, les autres peintes et dorées, quelques-unes même gravées, peintes et dorées. Il y a deux sortes de gravures : l'une, qui ressemble à la taille, est la gravure chère, artistique; l'autre, obtenue au moyen de l'acide fluorhydrique étendu d'eau, est d'un prix beaucoup moins élevé, et depuis ces derniers temps on y est arrivé à un tel degré de perfection, qu'elle peut rivaliser avec la première. La gravure proprement dite est une sorte de ciselure à la mollette qui se fait en approchant la surface à graver au contact de petites roues, soit de laiton, soit d'acier, sur lesquelles tombe de l'émeri. L'habileté du graveur est extrême; sans décalque pour le guider, et avec une précision absolue, il enlève la surface là où il le veut et à la profondeur qui lui convient, décrivant ainsi des fleurs, des ornements, des lettres avec leurs pleins et leurs déliés, et cela avec une rapidité et une facilité apparentes, qui étonnent d'autant plus que le dessin naît sous les yeux. Certains graveurs sont tellement habiles, que dans un verre un peu épais ils découpent des bas-reliefs en creux qui, vus en transparence, font l'effet de véritables sculptures. La gravure enlève le poli et permet de varier les effets; dans un chiffre, par exemple, on peut laisser une lettre mate et rendre le poli à l'autre au moyen d'une petite roue de plomb ou de bois chargée de potée d'étain; les dessins obtenus par ce procédé sont à arêtes vives, à contours nets et arrêtés, et ont une grande valeur.

A l'Exposition de 1878 (classe 53), nous avons remarqué plusieurs machines

présentées par M. Jaubert et qui paraissaient répondre aux principales conditions exigées par le travail de la taille.

Le travail de la *gravure* est fondé sur un principe analogue à celui de la taille, seulement ici le travail est plus délicat, la paroi du vase à graver est à peine entamée.

La gravure se fait, comme la taille, sur le tour, seulement les meules sont en cuivre d'un diamètre variant entre 3 millimètres et 8 à 10 centimètres. Dans le travail de la gravure, la roue ou meule est un crayon, ou pour mieux dire, un burin fixe avec lequel on dessine sur la surface du verre; mais au lieu de dessiner ou buriner sur une matière immobile, c'est au contraire le burin qui est fixe, et la matière à graver que l'on présente à ce burin en la contournant de manière à produire le dessin.

La gravure est le travail le plus important pour les verriers de Bohême, qui tracent sur leurs coupes, sur leurs vases à fleurs, sur leurs services de table, des dessins, des portraits, des paysages, des inscriptions, des légendes. Ce sont ces dessins qui font surtout le mérite des verres de Bohême, et les ouvriers de ce pays font sortir de leurs mains de véritables objets d'art. Mais la gravure ajouterait peu à l'éclat du cristal, et la taille est, pour cette substance, mille fois plus précieuse. Aussi la gravure n'a-t-elle jamais été, en France ni en Angleterre, un sujet de bien grande préoccupation pour nos verriers, si ce n'est pour l'usine de Baccarat, où elle joue un certain rôle dans la décoration des cristaux destinés aux lustres et aux appareils d'éclairage. La gravure des vitres a pris seule de nos jours une grande extension. Mais la gravure des vitres s'exécute par d'autres moyens.

Outre la gravure à la roue, nous devons signaler : la gravure à l'acide fluorhydrique, qui attaque le cristal et le grave en clair;

La gravure au moyen de la réaction des bifluorures sur le silicate double de potasse et de plomb, qui grave en mat;

La gravure à l'aide de l'injection d'un jet de sable. Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, ayant déjà entretenu le lecteur de l'action de l'acide fluorhydrique sur le verre (voy. p. 52 et 53).

CHAPITRE II

FABRICATION ET COMPOSITION DES VERRES D'OPTIQUE

Historique. — Pendant très longtemps on s'est procuré les verres, employés par les opticiens pour la fabrication des objectifs achromatiques, en choisissant parmi les morceaux de verre ordinaire ceux qui se rapprochaient le mieux des conditions requises. C'est à Pierre-Louis Guinand que l'on doit la découverte des procédés qui permettent d'obtenir ce verre méthodiquement et à coup sûr.

Pierre-Louis Guinand est né en Suisse, aux Brenets, canton de Neufchâtel; il était horloger, avait dix-sept ans quand il réussit à produire des masses de

cristal capables de fournir des objectifs de 9 pouces, dimension jusqu'alors inconnue, les seuls objectifs réellement achromatiques que l'on eût alors ne dépassant pas 3 pouces. Guinand communiqua le secret de son procédé à Utzschneider et au célèbre Frauenhofer, avec lesquels il s'associa dans leur établissement de Munich. Pendant plusieurs années ils utilisèrent ce procédé, avec succès et sans qu'on leur fît concurrence; après la mort de Guinand son fils aîné qui était en possession de la méthode de son père, continua la fabrication des verres optiques.

Le verre pesant de Guinand a pour densité 3,616; sa composition est la suivante :

Quartz	100 parties.
Rouge de plomb (minium)	100 —
Carbonate de potasse	35 —
Salpêtre	2 à 4 —

Le second fils de Guinand forma une association avec M. Bontemps, l'un des directeurs de la verrerie de Choisy-le-Roi; mais les expériences qu'ils firent, de concert, dans cet établissement, ne furent pas couronnées de succès et l'association fut rompue. MM. Bontemps et Thibeaudeau continuèrent leurs expériences d'après le principe de Guinand, et, en 1828, ils réussirent enfin à produire de bon verre optique en disques de 12 à 14 pouces et une plus grande quantité de verres de petites dimensions. A partir de ce moment la fabrication est certaine, régulière.

En 1848, M. Bontemps fut amené, par les conséquences de la situation politique du pays, à quitter la direction de l'usine de Choisy-le-Roi et à accepter l'invitation de MM. Chance (frères) et C[ie], qui lui offraient de se joindre à eux pour perfectionner cette branche importante de leur fabrication.

On peut juger du succès qu'ont obtenu ces messieurs par ce fait qu'ils ont produit des disques de cristal de 29 pouces de diamètre pesant 2 quintaux, et des disques de verre blanc de 20 pouces.

Ces disques sont très peu colorés, homogènes comme pâte, exempts de tous les défauts qui amènent la polarisation de la lumière.

Les proportions de Bontemps pour le verre optique sont les suivantes

POUR CRISTAL (FLINT-GLASS)

Sable	43,5
Rouge de plomb	43,5
Carbonate de potasse	10,0
Nitrate de potasse	3,0
	100,0

POUR VERRE BLANC (CROWN-GLASS)

Sable	100
Carbonate de potasse	42,66
Chaux	21,66
Arsenic	0,25
Salpêtre	2,00

On observera que le verre optique en cristal se distingue principalement par la grande proportion de plomb qui entre dans sa composition. Néanmoins, le point essentiel dans la fabrication consiste à remuer, à agiter constamment le verre pendant la fonte et la fusion. La supériorité de l'idée de Guinand n'est pas dans la nouveauté et les proportions des matières employées, mais dans l'agitation soignée du verre liquide à son plus haut point de fusion, ensuite dans le refroidissement du contenu entier du creuset en une seule masse, et lorsqu'il est recuit et refroidi, dans la séparation des parties striées.

Il est digne de remarque que, quelque temps avant la mort de Guinand, une commission de la Société astronomique de Londres, composée de Herschel, Faraday, Dollond et Roget, fut chargée de faire une enquête sur la fabrication du cristal pour l'optique, et arriva à cette conclusion que le perfectionnement nécessaire serait principalement mécanique et non chimique, et que l'absence des stries ne pourrait être obtenue que par la constante agitation du mélange.

Faraday, qui s'occupa spécialement du plomb, à la fois dans son laboratoire et dans la verrerie de MM. Pellatt, changea néanmoins la composition aussi bien que le principe de fabrication et produisit un borate de plomb d'une pureté remarquable. Cette substance, connue sous le nom de verre lourd de Faraday, qui est devenue si importante dans les expériences relatives à la polarisation de la lumière par l'action magnétique, est formée des composés suivants :

Protoxyde de plomb............	104
Silicate de plomb..............	24
Acide borique sec..............	25

Ce verre fond à une très basse température, mais il est trop altérable à l'air et pour cette raison a été abandonné.

Henry Guinand, après s'être séparé de M. Bontemps, fonda une petite usine à Paris et il y obtint des produits remarquables. Arago, Dumas, Thenard, qui suivaient cette fabrication avec intérêt, l'aidèrent à obtenir des récompenses bien méritées (1838-39).

M. Feil succéda à H. Guinand, son grand-père, en 1848, et non seulement soutint dignement la réputation de ses ancêtres, mais M. Feil est reconnu aujourd'hui par tous les astronomes comme le premier fabricant de verres d'optique.

Le flint de la grande lunette de 29 pouces de l'Observatoire de Paris est de M. Feil; il en est de même pour l'objectif de 70 centimètres destiné à l'Observatoire de Vienne et travaillé en Angleterre par M. Grubb, de Dublin; de même pour les objectifs de 60 et de 80 centimètres travaillés par l'Américain Clarck. M. Mantois a fabriqué un disque de $0^m,96$. La plupart des grands opticiens d'Allemagne, d'Angleterre même et d'Amérique, demandent à M. Mantois les verres qui leur sont nécessaires.

Voici quelques compositions de crown et de flint, qui nous ont été données par M. Feil :

CROWN

Pour objectifs de longue vue
D = 2,50

Sable	100
Carbonate de potasse	35
— de soude	10
— de chaux	15
Indice de réfraction, raie D =	1,514

Pour photographie
D = 2,54

Sable	100
Carbonate de potasse	31
— de soude	10
— de chaux	15
Minium	5
Indice de réfraction, raie D =	1,5347

FLINT

Pour objectifs de longue vue
D = 3,60

Sable	100
Minium	105
Carbonate de potasse	14
Nitrate de potasse	6
Oxyde de manganèse (MnO^2)	0,100
Indice de réfraction, raie D =	1,6280

Flint léger pour objectifs photographiques
D = 3,20

Sable	100
Minium	70
Carbonate de potasse	18
Nitrate de potasse	5
Acide borique	6
Oxyde de manganèse (MnO^2)	0,120
Indice de réfraction, raie D =	1,5863

Fabrication. — La fabrication du verre d'optique ne diffère, en réalité, de la fabrication des autres verres que par les procédés employés pour débarrasser le verre des stries qui tendent à s'y produire.

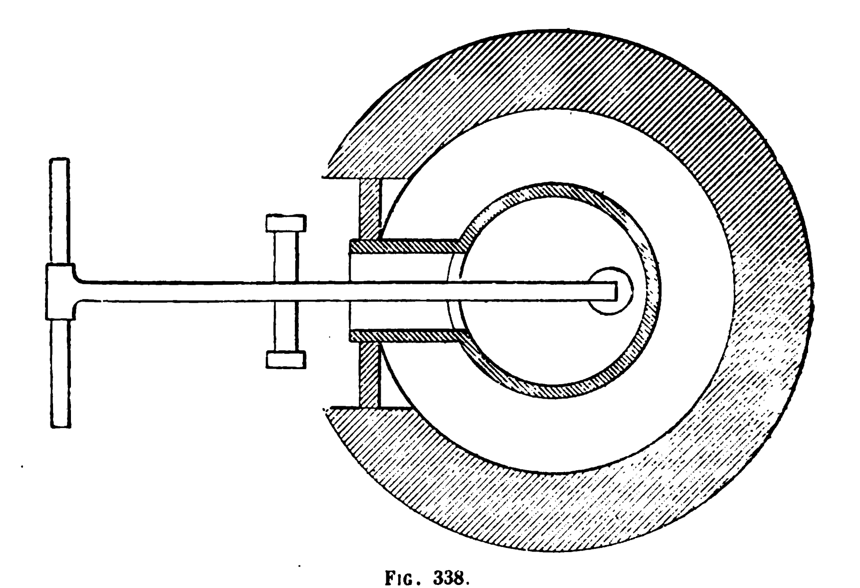


Fig. 338.

Ce verre est fabriqué dans des petits fours circulaires ne contenant qu'un seul creuset de la forme employée généralement dans les cristalleries — chaque pot ou creuset ne sert naturellement que pour une fonte, puisque le verre reste dans le creuset jusqu'au refroidissement absolu, — d'où il est retiré en une seule masse de 400 kilogrammes environ.

Le verre étant fondu et parfaitement affiné, est brassé, par intervalles, pendant une période variant de douze à vingt-quatre heures suivant la nature du verre, à l'aide d'un cylindre en terre réfractaire de la hauteur du verre dans le creuset, et de 80 à 100 millimètres de diamètre. Ce cylindre est creux de manière à flotter naturellement à la surface du verre. L'ouverture intérieure-supérieure de ce cylindre est carrée, de manière à recevoir l'extrémité d'un crochet en fer

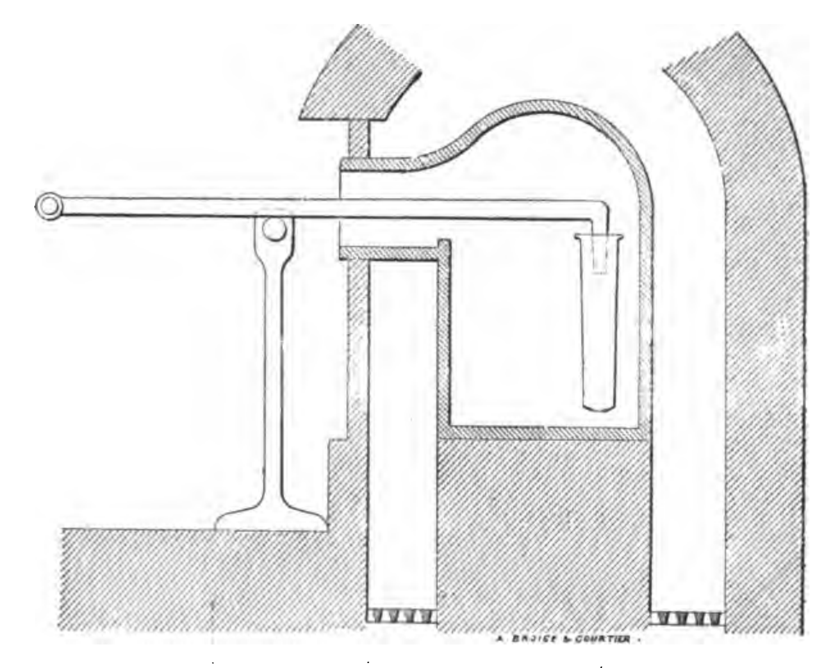


FIG. 339.

supporté à mi-longueur par une servante et que manie un ouvrier placé à l'autre extrémité, à l'aide d'une traverse en bois passée dans l'œil du crochet.

Ce brassage est répété toutes les deux ou trois heures, jusqu'à disparition complète des stries du verre ; cette disparition est la conséquence de l'homogénéité parfaite de la masse.

Il va de soi que le brassage du crown-glass est plus rapidement exécuté que celui du flint-glass, et quel que soit le verre à obtenir, plus la durée de ce brassage augmente avec le poids spécifique du verre qui présente d'autant plus de couches de densités différentes, plus il est dense.

Une fois la masse parfaitement affinée, épurée et brassée, le dernier brassage ayant été conduit jusqu'à ce que la masse de verre ait pris une assez grande consistance, le creuset plein de verre est retiré du four et mis à recuire dans une arche spéciale. Lorsque la masse est absolument refroidie, le bloc de verre est isolé et à l'aide de faces rendues parallèles et polies, on examine l'état de pureté de la brasse. Si l'ensemble est satisfaisant et ne présente que quelques petits défauts se trouvant sur les bords, ces défauts sont enlevés à l'aide de sciages partiels.

Une fois qu'on a obtenu un bloc de verre absolument pur, ayant le volume et le poids voulu, il ne reste plus qu'à le mouler, dans une arche spéciale, pour l'amener à la forme du disque demandé.

Pour les grands disques, cette opération demande de grands soins et un temps assez long pour l'échauffement graduel de la masse que le moindre coup de feu trop précipité ferait voler en éclats.

Quand on a acquis une température assez élevée pour que, à l'aide de certains

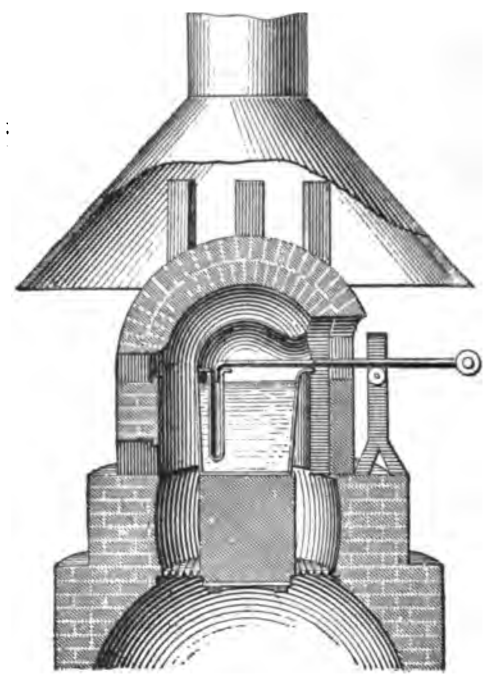


Fig. 340.

outils, on puisse manipuler ce morceau de verre (mais sans amener ce verre à une température à laquelle il pourrait s'altérer), on lui fait prendre la forme et l'épaisseur voulues et on clôt hermétiquement l'arche pour que la recuisson soit parfaite. On juge de la réussite de cette dernière partie de l'opération par l'examen d'un rayon de lumière réfléchi au travers de la masse et d'un prisme de Nichols.

La fabrication des verres d'optique présente des difficultés considérables dont le lecteur pourra se faire une idée par la lecture de la description ci-après qui en est faite par M. Mantois l'habile verrier opticien.

« Les fours de verrerie d'optique ne contiennent qu'un seul creuset; ce sont des fours à réverbère chauffés par une ou deux grilles.

» Le four étant complètement froid et ouvert, on y introduit un creuset en terre réfractaire, parfaitement sec, ayant la forme d'un énorme cylindre, d'un mètre de haut environ, terminé par un dôme et portant sur l'avant une ouverture, en forme de petite porte, appelée la *gueule*.

» On mure ensuite le four, de manière à ne laisser passer que l'extrémité de la gueule du creuset; c'est par là qu'on introduira les matières vitrifiables et que l'on procédera à l'opération du brassage.

» La contenance des creusets varie de 600 à 1.000 kilogrammes, suivant la densité du verre. A grandeur égale, un creuset peut contenir environ 600 kilogrammes de crown ou 1.000 kilogrammes de flint. Ce sont là les deux grandes divisions généralement adoptées pour les verres d'optique. Malgré des compositions très diverses, on peut dire que les crowns sont des silicates de potasse, de soude ou de chaux et que les flints sont des silicates de potasse et de plomb.

» Le creuset, une fois placé et muré dans le four, est chauffé lentement et en observant les plus grandes précautions pour éviter sa rupture, d'abord à feu doux, puis, de plus en plus fort, pour arriver au rouge blanc au bout de trente heures environ.

» On commence alors à enfourner par la gueule les matières vitrifiables, par quantités successives, en prenant pour base le degré de moussage de la composition. En effet, quand on a introduit dans le creuset un mélange de sable, de potasse, de soude, d'acide borique, de chaux, de minium, etc., il se produit un bouillonnement et un gonflement des matières tels, que si l'on remplissait trop le creuset, la plus grande partie de la composition s'échapperait en coulant dans le four et les foyers. Il faut donc attendre, après un premier enfournement, que les bouillons soient tombés avant d'en faire un second. Il faut de quinze à dix-huit heures d'enfournements successifs pour que le creuset arrive à être complètement rempli.

» Huit à dix heures après le dernier enfournement, le creuset étant complètement plein, la période de l'affinage commence. Jusque-là, la matière s'est bien vitrifiée, mais elle est remplie de bulles et ressemble en quelque sorte à de la mousse de savon. On chauffe alors le verre à un degré aussi élevé que possible, suivant sa nature; je puis même dire, quelquefois, à outrance, pendant un certain nombre d'heures. Je dis *à outrance*, car pour certains crowns très durs, on arrive à des températures qui s'élèvent jusqu'au voisinage de 1.600 à 1.800 degrés; heureux quand les creusets ne se déchirent pas sous l'influence du feu, car, à ces températures, les briques les plus réfractaires arrivent à fondre elles-mêmes, et fours et creusets sont, en bien peu de temps, hors de service.

» Cette période de chauffe varie de vingt à trente heures; au bout de ce temps, on prélève dans la masse des échantillons de verre, au moyen de petites cuillères; ces échantillons, refroidis rapidement, ont alors la forme de demi-sphères que l'on examine à la loupe, dans des conditions d'éclairage variées; c'est ainsi qu'on doit juger du degré d'affinage auquel le verre est parvenu.

» Ce n'est qu'après avoir trouvé sans bulles plusieurs échantillons ainsi pris, qu'on arrête, ou du moins qu'on suspend la période de grand feu.

» Le creuset est alors débouché : on enlève une certaine partie de la surface du verre, faisant ainsi ce qu'on appelle l'écrémage. Cette opération a pour but de bien débarrasser le creuset de toutes les impuretés qui auraient pu monter à la surface du verre.

» Il nous faut maintenant procéder à la plus importante de toutes les opérations, c'est-à-dire au *brassage*. Il est nécessaire, en effet, de mélanger toutes les parties vitrifiées d'un façon intime; or, les verres ont une constitution analogue à celle des alliages; ils sont formés de silicates de composition définie, maintenus en dissolution dans des silicates basiques qui jouent le rôle de fondants et s'opposent à la cristallisation des premiers; aussi rien n'est moins aisé que d'éviter la séparation de ces éléments hétérogènes et de s'opposer à la liquation qui engendre les fils. Pour obtenir l'homogénéité complète, il faut arriver progressivement, par le moyen du brassage, à mélanger le verre de telle sorte, qu'au bout d'un certain nombre d'heures, quand il se sera solidifié, il ait la même composition chimique et la même densité dans toutes les parties de sa masse.

» Dans ce but, on introduit dans le creuset un cylindre en terre réfractaire, en forme de crochet, préalablement chauffé à blanc, dans un four spécial.

» Ce crochet est emmanché au bout d'une longue barre de fer, suspendue elle-même par une chaîne à un point élevé au-dessus du four; un manche en bois, en forme de traverse, est placé à l'extrémité de la barre; on peut donc, au moyen de cette traverse et de la suspension, imprimer au cylindre ou agitateur un mouvement de va-et-vient et de rotation et agiter ainsi, dans le creuset, la masse de verre à ce moment aussi fluide que de l'eau.

» Pour ce travail, excessivement pénible, comme on peut le penser, quatre hommes, formant équipe, se relaient de cinq en cinq minutes, manœuvant à tour de rôle l'agitateur, suivant les indications qui leur sont données C'est, en effet, l'expérience seule et de nombreux essais, qui permettent de juger de quelle façon on doit brasser telle ou telle espèce de verre.

» Les hommes ne peuvent pas supporter ce travail plus de cinq minutes sans interruption, surtout pendant les premières heures de brassage, pendant lesquelles le rayonnement de la chaleur est tel qu'ils sont obligés de porter des gants et des manches en toile d'amiante; de plus, la sueur du front leur coule dans les yeux et les aveugle momentanément.

» Si au bout d'un certain temps de brassage, une heure ou deux par exemple, il se reproduit des bulles dans la masse de verre, on arrête le brassage, on retire l'agitateur, on bouche de nouveau le creuset que l'on recommençe à chauffer à nouveau, jusqu'à ce que les prises d'échantillons indiquent que les gaz ont disparu.

» Supposons qu'il ne s'en soit pas reformé, on continue le brassage et ce, pendant dix à quinze heures, en ayant soin, pendant ce temps, d'abaisser progressivement la température en diminuant le feu méthodiquement.

» Après les premières heures de brassage, le verre, de très fluide qu'il était, s'épaissit et devient de plus en plus pâteux, jusqu'à acquérir une consistance telle, qu'il devient très difficile de remuer l'agitateur.

» Lorsqu'il n'y a plus à craindre que la température remonte et qu'il se produise une nouvelle séparation des éléments du verre, on retire avec précaution l'agitateur et on jette bas les feux.

» Pendant cinq ou six heures, la totalité du verre est abandonnée à un refroidissement rapide, jusqu'à ce que sa surface, frappée par un instrument de fer, rende un son franchement cristallin. Le four est alors bon à boucher.

» Après avoir, pendant cinq ou six heures, cherché par le refroidissement rapide, une solidification complète, il faut maintenant recuire la masse pour éviter ce que l'on nomme *la trempe*.

» Un bloc de verre refroidi trop rapidement se trouve, à la sortie du four, dans un tel état de tension moléculaire, qu'il suffit souvent d'un léger choc pour le faire éclater en mille morceaux comme une simple larve batavique. Le recuit a donc pour but d'éviter, autant que possible, cette tension moléculaire.

» Pour arriver au refroidissement lent, on mure complètement le four et ses foyers, on l'isole de telle façon qu'aucun courant d'air ne puisse le frapper brusquement. Pour les fontes de verres ordinaires, le refroidissement dure de dix à quinze jours et quand dans les fontes spéciales on cherche à obtenir de gros blocs, on maintient la durée du refroidissement jusqu'à un mois et même six semaines.

» Au bout de ce temps, la masse du four étant complètement froide, on l'ouvre et on isole le creuset dans lequel le verre s'est brisé en morceaux plus ou moins gros.

» C'est encore là une des grandes différences qui existent entre la fabrication du verre ordinaire et celle du verre d'optique. Ainsi, au lieu de pouvoir se servir d'un creuset pendant plusieurs semaines, en y faisant des fontes successives, comme dans la verrerie ordinaire, le verrier d'optique se trouve dans la nécessité de perdre le creuset à chaque opération.

» Après avoir sorti tous les morceaux de verre contenus dans le creuset, des ouvriers spéciaux étudient à la loupe chaque morceau séparément.

» On est bien parvenu par le brassage, à mélanger le verre d'une façon absolument intime, mais malheureusement, pendant la solidification progressive, on a formé des couches de ces fils. Il est en effet facile de comprendre que les parois et la surface du creuset se sont refroidies plus vite que le centre et le fond, et que pendant les dernières heures du brassage, le tour et la surface se solidifiant progressivement, ont cessé d'avoir un mouvement proportionnel à celui des parties les plus chaudes; il s'est alors produit un glissement circulaire des molécules du verre, qui donne, sur une épaisseur de 10 centimètres environ, un véritable enroulement de fils excessivement fins.

» En outre, en retirant l'agitateur que l'on a ramené le plus près possible de la paroi du creuset, on a produit dans la masse une espèce d'arrachement qui ne peut mieux comparer qu'à celui d'une cuillère dans un pot de mélasse.

» Tout compte fait, on doit donc s'attendre, malgré tous les soins, à trouver dans ces blocs de verre des parties souillées de fils qui représenteront souvent 50 pour 100 de la masse totale.

» Les morceaux sont donc étudiés séparément à la loupe en utilisant un éclairage spécial qui permet de découvrir aisément les parties qui renferment

des fils et qui sont enlevées soit au marteau, soit avec des meules de fonte sur lesquelles tombe du silex en poudre ou de l'émeri.

» Une fois reconnus bons, ces morceaux sont placés, suivant leur grosseur, dans des moules en terre réfractaire et portés dans les fours de moulage.

» Ces fours de moulage, contrairement aux fours de fusion, ne sont chauffés qu'à des températures relativement basses, c'est-à-dire ne dépassant pas 800 à 900 degrés. Dans ces fours, les blocs de verre s'échauffent lentement jusqu'à se ramollir et à s'étaler dans les moules dont ils prennent la forme.

» Cette opération demande une grande surveillance de la part de celui qui la conduit; en effet, il faut bien ramollir le verre, mais il faut bien se garder de le laisser rentrer en fusion, car le travail chimique recommencerait, et, par cela même, le bouillonnement : tout serait perdu.

» Après le moulage du verre, on le recuit avec des précautions analogues à celles qu'on a prises pour les creusets entiers, et une fois les fours refroidis. les plateaux sont retirés de leurs moules et polis sur les tranches, examinés de nouveau et enfin livrés à l'opticien.

» Il nous suffira de dire que ces plateaux peuvent être coupés en morceaux et moulés de nouveau suivant les courbes que nous aura indiquées l'opticien. En prenant les mêmes précautions que pour le premier moulage, ne pent faire varier la forme des verres suivant les moules que l'on emploie.

» Nous allons suivre le travail qu'il nous a fallu effectuer pour arriver à produire la grande lentille de crown de $1^m,05$ de diamètre de l'objectif du grand équatorial de M. Yerkes, à Chicago.

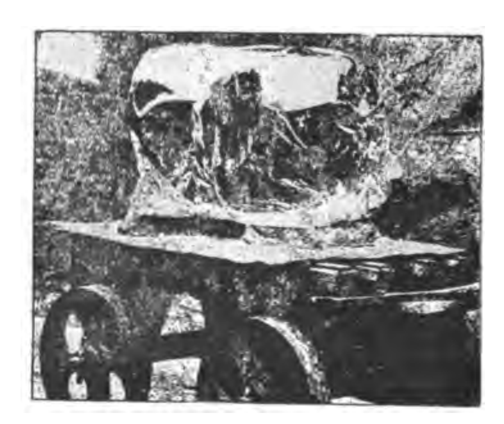


Fig. 341. — Bloc de crown à sa sortie du four.

» Au mois de décembre 1887, j'avais la satisfaction de trouver, dans un de mes creusets, un énorme bloc de crown qui, après un premier examen, me sembla assez pur pour fournir la matière du grand disque. Ce bloc fut extrait du four et amené sur un chariot (fig. 341) ayant encore adhérents les morceaux du creuset, ainsi que vous pouvez le voir en examinant sa base.

» Après un premier travail d'épluchage (fig. 342), un examen plus minutieux par les cassures ayant confirmé mon opinion première, je fis scier sur deux

côtés parallèles des tranches de verre (fig. 343) pour me permettre de faire des facettes polies facilitant un examen approfondi.

« Le bloc pesait alors 240 kilos et présentait l'aspect de la figure 344, après qu'on eût poli ses deux faces.

» En faisant passer à travers du verre des rayons lumineux et en l'exami-



Fig. 342. — Bloc de crown après un premier épluchage.

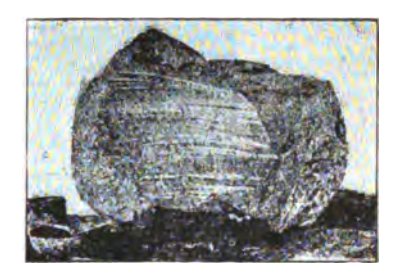


Fig. 343. Bloc de crown après le sciage de tranches parallèles.

nant au collimateur, je découvris un certain nombre de stries, affectant particulièrement son pourtour, et qu'il me fut possible d'enlever au moyen



Fig. 344. — Bloc de crown après le polissage de deux faces.



Fig. 345 — Bloc de crown après son moulage en décagone.

de nouveaux sciages, ainsi que par l'emploi de la meule, comme je l'ai expliqué plus haut.

» Le verre présentait encore après ce travail un certain nombre de défauts, mais trop profondément situés pour pouvoir être atteints. Je me décidai donc à procéder à un premier moulage pour changer la forme du verre et tenter de rapprocher de la surface les défauts profonds.

» Dans ce but, le verre, placé dans un four à mouler de grande dimension, spécialement construit et installé en vue de ce travail nouveau, fut chauffé

lentement et progressivement pour lui permettre de s'étaler en prenant la forme d'un décagone, ainsi que vous le montre la figure 345.

» Après un refroidissement méthodique de plusieurs semaines, pour éviter la rupture et la trempe, le bloc de verre fut sorti de nouveau pour être poli sur les côtés et les plats.

» Ce premier moulage est certainement l'un des plus dangereux; car on



FIG. 346. — Bloc de crown éclaté dans le four pendant le moulage.

conçoit que l'énorme épaisseur du bloc permet difficilement à la chaleur d'arriver jusqu'au cœur sans occasionner sa rupture, et c'est un accident qui m'est arrivé malheureusement bien souvent.

» La figure 346 montre les éclats d'un bloc de crown brisé dans le four



FIG. 347. — Bloc de crown après l'enlèvement à la meule des parties défectueuses.

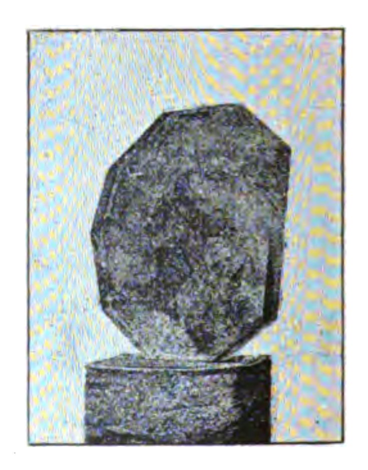


FIG. 348. — Aspect du bloc de crown après un second moulage.

au moment où sa température allait, après plusieurs jours de chauffage, atteindre le rouge sombre.

» Un nouvel examen de notre verre, moulé en décagone et poli sur toutes les faces, me fit découvrir que les stries que je n'avais pu atteindre affectaient une partie des deux surfaces, mais sans aller jusqu'au centre.

» La figure 347 montre le travail d'enlèvement du verre que j'ai dû faire

faire à la meule pour conserver les parties bonnes, en enlevant les stries ou fils. On peut déjà se rendre compte de la perte énorme subie par notre morceau primitif.

« On remarquera sur le côté gauche, vers le sommet de la figure, une partie rentrante en demi-cercle. Il restait encore un groupe de fils dans le fond de ce creux, mais je ne pouvais les enlever à la meule, sans crainte de voir le verre former un pli, en se refermant sur la courbe pendant le moulage.

« Avec les mêmes précautions que précédemment, le bloc fut moulé une seconde fois, suivant la forme indiquée figure 348.

« Au moyen de la meule, on enleva la partie de fils qui était restée. Un examen nouveau, après polissage complet, ayant encore montré la présence de stries ne pouvant disparaître qu'en partie, un nouveau moulage eut lieu et

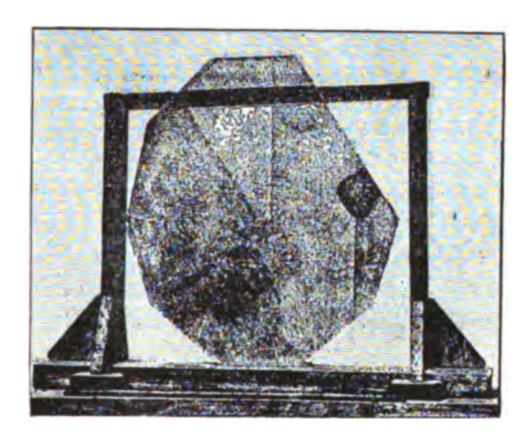


Fig. 349. — Aspect du bloc de crown après le troisième moulage.

amena le verre à la forme indiquée figure 349. Cette dernière transformation ayant permis d'amener presque aux surfaces ce qu'il restait de stries, on put les faire disparaître en enlevant les parties défectueuses du verre aux endroits qui apparaissent en teinte plus sombre dans cette figure.

« Après cette série de transformations, il nous restait un bloc de crown absolument pur, ne pesant plus que 145 kilos, au lieu de 240 qu'il pesait à l'origine du travail et ayant par conséquent perdu près de 40 pour 100 de son poids primitif.

« Ces moulages successifs, quoique présentant de sérieuses difficultés, n'offraient cependant que peu de risques en comparaison de la dernière opération qu'il fallait exécuter.

« Par le dernier moulage, en effet, nous devions donner au verre sa forme définitive de lentille plan-convexe et faire étaler notre crown dans un moule présentant la courbure voulue, en passant par tous les risques de rupture et de bouillonnage.

« Le danger de rupture était d'autant plus grand ici que le bloc de 145 kilos

ne pouvait porter que par ses extrêmes bords sur la surface concave du moule. La figure 350 montre l'accident qui m'arriva plus tard en procédant au moulage d'un bloc de flint-glass que je destinais à faire la lentille concave de ce même objectif, et qui fut brisé et totalement perdu après de longs mois d'un travail semblable à celui que je viens de décrire pour la lentille de crown.

« Le moule préparé pour notre verre pesait environ 500 kilos. Il avait déjà plusieurs fois subi l'épreuve du feu et il avait déjà servi à mouler, à titre d'essai, une lentille de crown de $1^m,05$.

« Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que la fabrication d'un moule semblable demande au minimum deux mois, pour le séchage de la terre et sa cuisson.

« Au moment de commencer le dernier moulage, le moule en question se rompit en deux morceaux pendant son introduction dans le four. Ne voulant

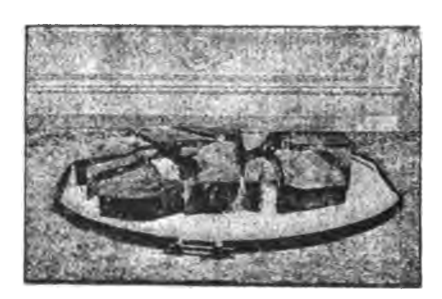


Fig. 350 — Bloc de flint-glass éclaté dans le four après le dernier moulage.

pas retarder de deux mois notre opération, nous rapprochâmes les deux parties avec le plus grand soin et les entourâmes d'un cercle de fer fortement boulonné.

« Le bloc de verre fut ensuite placé dessus, le four muré et le chauffage commença. Au bout de dix jours, le verre, convenablement ramolli, s'était étalé dans son moule et la lentille était terminée (fig. 351).

« On procéda ensuite à la recuisson et au refroidissement, très lent, qui dura plus de trois semaines. Après ce temps, la maçonnerie du four étant presque froide, j'entrouvris avec précaution l'un des regards, en éclairant l'intérieur du four et j'éprouvai une violente émotion en apercevant une grande ligne noire coupant le disque par son diamètre. Mais je reconnus bientôt que cette raie noire était produite par la cassure du moule. Par l'effet du chauffage, le cercle de fer retenant les morceaux du moule s'était dilaté ; le poids du verre avait fait écarter légèrement les deux parties et, en se liquéfiant, s'était introduit dans la fente. Pendant le refroidissement, l'effet contraire s'était produit : le cercle de fer, resserrant énergiquement les deux pièces de terre qu'il avait laissé disjoindre pendant sa dilatation, provoquait la cassure de la partie du verre qui avait coulé dans la fente.

« Tremblant de voir le disque lui-même se rompre, le four fut immédia-

tement débouché, des couvertures de laine jetées sur le verre encore chaud, et malgré la température, plusieurs ouvriers et moi, armés de limes et nous remplaçant toutes les minutes, à tour de rôle, nous entreprîmes de scier le cercle de fer. Après un quart d'heure de travail, ce dernier se rompait si bruyamment que nous croyions le verre définitivement brisé. Les couvertures enlevées, j'eus l'immense satisfaction de voir qu'il n'en était rien.

« Le four fut rapidement rebouché pour laisser le refroidissement s'achever

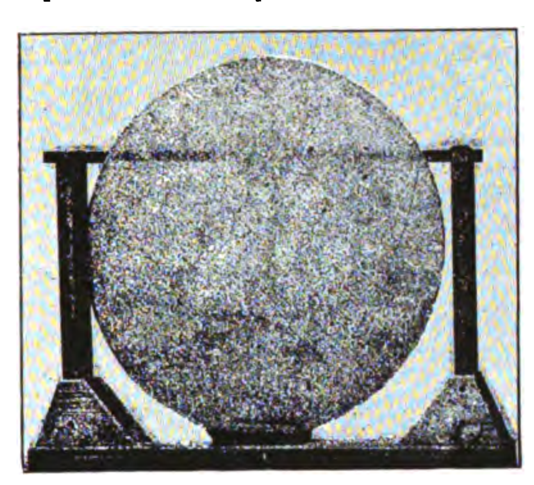


Fig. 351. — La lentille de crown de 1m,05 de diamètre après le dernier moulage.

lentement. Enfin, huit jours après, la lentille était sortie, et le dernier travail de polissage commençait.

« Une fois le verre terminé, on procéda aux examens définitifs, au point de vue de la pureté de la matière et de l'absence de trempe, et ce disque, pesant alors 132 kilos, figura à l'Exposition de 1889.

« Vous voyez, par ces détails, que le travail de cette lentille, commencé en 1887, se terminait en mai 1889, et qu'il avait fallu près de dix-sept mois ponr le mener à bien ».

Nous ajouterons que, grâce aux efforts et à l'habileté de M. Mantois, dont le désir est de fabriquer toujours de plus en plus grand, on peut être assuré que le monopole de la fabrication des plus grands miroirs astronomiques est pour longtemps assuré à notre pays (1).

Nous n'insisterons pas sur la fabrication du crown-glass, car il est démontré que le verre à glaces de Saint-Gobain, convenablement choisi, en remplit parfaitement le rôle : nous en donnons, d'ailleurs, la composition à l'article des Phares.

Ce verre doit être capable de résister à diverses causes d'altération : contact de l'air humide, changement de température, etc. La sécurité de résistance du verre est très importante pour les grands instruments d'astronomie ; une mauvaise composition compromet non seulement la matière, mais la taille des objectifs, taille longue et dispendieuse. Plusieurs disques ont été remplacés dans

(1) Nous apprenons que les recherches de M. Mantois sur la fabrication de verres spéciaux pour l'optique viennent d'être couronnées de succès. Il est maintenant indiscutable que ces verres spéciaux : Flints et Crowns sont plus purs, mieux affinés et de tous points supérieurs à ceux qui sont préparés à l'étranger. Nous constatons ce fait avec plaisir et nous sommes heureux de pouvoir mettre sous les yeux du lecteur — dans l'appendice — un tableau où sont résumées les propriétés optiques d'un certain nombre de ces verres.

certains Observatoires, ce qui indique que cette condition de résistance du verre n'est pas très simple à réaliser.

COMPOSITIONS EMPLOYÉES CHEZ MM. CHANCE, DE BIRMINGHAM

On se sert généralement de cinq sortes de verres d'optique :

2 sortes de crown-glass,
3 sortes de flint-glass.

Le crown glass tendre dont la composition est la suivante pour objectifs de photographie :			
Sable	100	Densité	2,558
Minium	9,46	Indice de réfract., raie rouge.	1,522
Carbonate de potasse	45	Pouvoir dispersif	0,0332
Chaux	9,46		
Salpêtre	1,89		
Le crown-glass dur, pour télescopes, préparé spécialement à l'origine par Voegtlander, de Brunswick, en 1853 :			
Sable	100	Poids spécifique	2,488
Carbonate de potasse	42,66	Indice de réfract., raie rouge.	1,507
Chaux	21,66	Pouvoir dispersif	0,03082
Salpêtre	2,00		
Arsenic	0,75		
Le flint léger pour photographie :			
Sable	100	Poids spécifique	3,200
Minium	67	Indice de réfract., raie rouge.	1,575
Carbonate de potasse	30	Pouvoir dispersif	0,0475
Chaux	0,41		
Salpêtre	3,33		
Le flint lourd pour télescopes :			
Sable	100	Poids spécifique	3,641
Minium	105	Indice de réfract., raie rouge.	1,620
Carbonate de potasse	26,66	Pouvoir dispersif	0,0550
Salpêtre	4,8		
Chaux	0,17		
Le flint extra-lourd pour microscopes :			
Sable	160	Poids spécifique	3,800
Minium	128	Indice de réfract., raie rouge.	1,643
Carbonate de potasse	25	Pouvoir dispersif	0,0594
Salpêtre	2		

Qualités à exiger des verres destinés aux objectifs. — L'opticien exige des verres destinés à la construction des objectifs d'être aussi incolores que possible (plutôt jaunes que bleus), sans stries ni fils, homogènes, et peu trempés.

Pour vérifier la qualité d'un verre, il suffit de placer ce verre, après l'avoir

grossièrement poli, devant l'objectif d'une lunette. En recevant dans l'œil le faisceau lumineux provenant d'une petite flamme placée à une distance convenable, on aperçoit les défauts qui se révèlent par des différences d'intensité lumineuse. Les moindres différences de densité sont ainsi aperçues très facilement.

L'astronome demande que l'objectif soit *aplanétique*, c'est-à-dire qu'il donne *en un point* les foyers des rayons lumineux faisant partie d'un faisceau parallèle incident, quelle que soit la direction de ce faisceau par rapport à l'axe optique de l'objectif.

Détails pratiques sur la taille des lentilles. — Quand la lentille n'atteint

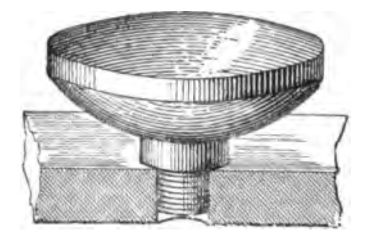


Fig. 352.

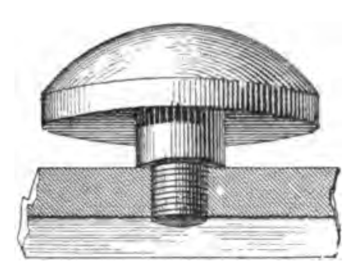


Fig. 353.

pas de grandes dimensions, le travail des surfaces ne présente pour ainsi dire aucune difficulté.

On commence par préparer quatre paires d'outils en cuivre un peu plus grands que les verres à travailler, on leur donne au tour la courbure voulue et on les réunit *balle* et *bassin* (fig. 352, 353) en les frottant l'un sur l'autre avec de l'émeri de plus en plus fin. Les verres étant mis d'épaisseur, dégrossis et débordés, on les rode à l'émeri et à l'eau sur les outils de cuivre jusqu'à ce que la surface ait pris un douci très fin et très régulier. Ensuite on colle sur lesdits outils une feuille de papier, le plus propre et le plus régulier qu'on puisse se procurer (le papier albuminé employé par les photographes convient fort bien). On l'imprègne de tripoli très fin et par le frottement prolongé sur ce polissoir, on éclaircit la surface du verre, qui finit avec le temps par prendre un poli parfait.

Le prix des bassins augmentant dans une proportion très rapide, leur poids

devenant considérable et l'adhérence énorme qui se produit entre le verre et le métal lorsque l'on travaille de grandes surfaces rendent le travail de plus en plus pénible et de plus en plus incertain. Foucault a imaginé de supprimer les outils de métal et de travailler les lentilles *verre sur verre*. Dès lors les frais d'établissement ne consistent plus que dans l'acquisition de quelques disques en verre de grandeurs proportionnées à la pièce que l'on veut entreprendre. La *dalle de Saint-Gobain* ordinairement employée convient parfaitement pour ce travail, aussi la recuisson de ce verre est-elle irréprochable.

Le travail des lentilles destinées aux grands objectifs astronomiques s'exécute sur un *poste* solidement établi, sorte de pilier isolé de toutes parts et qui supporte les outils de verre préalablement amenés à la courbure. Verticalement au-dessus de ce poste, on fixe au plafond un fort piton où s'accroche un ressort en hélice capable de supporter le poids de la lentille à travailler. L'outil en verre étant fixé sur le poste, on étend à sa surface un émeri un peu grossier délayé avec de l'eau, on dépose avec précaution la lentille par-dessus et l'on use les deux verres l'un sur l'autre, en ayant soin de varier les mouvements, de manière à distribuer également l'action dans tous les sens. Peu à peu, l'émeri s'écrase et pour éviter qu'il ne se dessèche, on l'humecte de temps en temps d'eau projetée en gouttelettes. Mais à mesure que le travail se prolonge, l'émeri perd son mordant, et parce qu'il devient de plus en plus fin, et parce qu'il s'encombre de parcelles détachées à l'une et à l'autre surface; au bout d'un certain temps, l'ouvrier reconnaît qu'il convient de relever la pièce, d'éponger les deux surfaces et de renouveler l'émeri.

Les premiers émeris sont destinés à produire la réunion des surfaces; on reconnaît que ce résultat est atteint à ce que les parties se meuvent indifféremment l'une sur l'autre dans toutes les directions.

On emploie alors des émeris de plus en plus fins qu'on désigne dans le commerce par le temps ou le nombre de minutes qui en opère la séparation quand on les traite par lévigation dans l'eau. En se succédant entre les surfaces flottantes, ces émeris à une, deux..... à quarante minutes communiquent au douci un grain uniforme et velouté dont la finesse se révèle par un ton opalin et demi-transparent.

Pendant cette longue succession des différents émeris, il est indispensable de recourir aux indications fournies par le sphéromètre, car les courbures relatives des surfaces se modifient sans cesse, d'une petite quantité il est vrai, mais dans cette sorte de travail les millièmes de millimètre ne sont pas négligeables. Le douci étant amené au plus haut degré de finesse et d'uniformité, il s'agit de le transformer en un poli parfait. On connaît plusieurs procédés pour polir le verre, mais celui qui convient le mieux aux lentilles objectives est le polissage au papier et au tripoli. Sur la surface même du disque qui a servi à doucir le miroir, on colle une feuille de papier dont la trame paraisse aussi égale que possible, puis en l'attaquant par une éponge légèrement humide, on détache des parcelles, on *dégarnit* ce papier de manière à soulever une peluche qui, une fois séchée, retient utilement les poudres à polir. Il faut encore passer la pierre ponce pour régulariser le papier, la chasser ensuite avec la brosse, après quoi on étend le tripoli, et le polissoir est prêt.

Le miroir lavé et séché est disposé sur ce polissoir qui le touche de toutes parts et qui va l'éclaircir aux premiers frottements.

Quand la lentille est entièrement polie, on la démonte et on la soumet à un premier examen optique, et si la surface ne présente pas d'imperfection grave, on entreprend de la ramener par une série de retouches locales à la figure définitive qui doit en faire une lentille objective parfaite.

Les retouches locales, imaginées par Foucault, se font à l'aide de polissoirs préparés de la façon décrite plus haut, mais de dimensions beaucoup plus petites et proportionnés aux défauts qu'il est utile de faire disparaître.

Pouvoir optique des objectifs. Pouvoir séparateur. — Lorsque les défauts auront ainsi disparu, l'objectif ou le miroir devra montrer en son foyer les phénomènes caractéristiques de la *diffraction*, c'est-à-dire qu'il devra donner d'un point lumineux, d'une étoile par exemple, un disque lumineux circulaire entouré d'anneaux circulaires d'une intensité rapidement décroissante. Et si ce résultat est obtenu on peut être assuré que, dirigé sur toute espèce d'objet terrestre ou céleste, il donnera de bonnes images.

Mais pour juger plus sûrement du résultat, Foucault a proposé de diriger l'objectif ou le miroir sur une mire lointaine systématiquement composée de manière à offrir à l'observation des détails placés à la limite de visibilité. Il construisait ces mires d'épreuve en traçant sur une lame d'ivoire des séries de divisions partagées en groupes successifs où le millimètre est fractionné en parties de plus en plus petites.

La largeur du trait doit varier d'un groupe à l'autre en proportion telle que dans chacun d'eux les espaces noircis aient la même étendue que l'intervalle qui les sépare. En observant une pareille mire avec des instruments de qualités et de dimensions différentes, on reconnaît bien vite que l'aptitude de l'instrument à pénétrer les détails des objets observés, ou ce qu'on peut appeler son *pouvoir optique*, est inversement proportionnel à l'angle limite de séparabilité des divisions contiguës : il a en définitive pour expression le *quotient* de la distance de la mire par l'intervalle moyen des dernières parties distinctes.

Or de nombreuses épreuves faites sur des miroirs et des objectifs de toutes dimensions l'ont conduit à une expression des pouvoirs optiques remarquable par sa simplicité : le *pouvoir optique est indépendant de la distance focale et proportionnel à l'étendue transversale* de la portion *efficace* de l'objectif du miroir. La valeur du *rapport constant* qui existe ainsi entre le pouvoir optique de l'objectif ou du miroir et son diamètre utile est d'ailleurs égal à 1500.

Si l'on suppose ce diamètre exprimé en millimètres, en d'autres termes, le pouvoir optique d'un objectif ou d'un miroir d'un diamètre égal à D (en millimètres) est égal à $1500 \times D$.

L'expression imaginée par Foucault pour caractériser un objectif ou un miroir n'a pas été adoptée par la majorité des astronomes.

Au lieu du pouvoir optique, la plupart d'entre eux se servent de la caractéristique découverte autrefois par Dawes, et qu'il appelait *pouvoir séparateur*. Cette dernière est évidemment l'inverse de ce que Foucault a appelé ensuite pouvoir optique, et elle désigne l'*angle limite de séparabilité* de l'instrument

Ce pouvoir séparateur est d'ailleurs *proportionnel* au diamètre utile de l'objectif ou du miroir, et il est défini par cette constante qu'un objectif ou un miroir de *dix centimètres de diamètre utile* sépare deux étoiles de cinquième à sixième grandeur séparées par un intervalle angulaire égal à 1″,3.

Les plus grandes lunettes astronomiques construites jusqu'à ce jour. — Le progrès ou perfectionnement des lunettes astronomiques a été plus lent qu'on ne serait tenté de le croire, et ne date guère que de cinquante ans.

Pour prendre un exemple de la rareté des bons instruments d'optique au commencement de notre siècle, il nous suffira de citer le fait suivant : En 1804, Napoléon, projetant de se rendre au camp de Boulogne, fit venir Delambre et lui demanda la meilleure lunette du Bureau des longitudes. « Sire, répondit l'astronome, nous pouvons vous donner la lunette de Dollond; Votre Majesté ferait une chose agréable aux astronomes, si elle voulait nous accorder en échange une excellente lunette de 4 pouces que vient de construire M. Lerebours. — Elle est donc meilleure? repartit l'empereur. — Oui, sire. — Eh bien, alors, je la prends pour mes observations. »

Cet objectif achromatique de 11 centimètres est le premier qui ait été fabriqué en France.

Avant cette époque on avait construit des lunettes beaucoup plus grandes formées d'un seul verre et colorant les objets. Leurs objectifs ne pouvaient recevoir qu'une faible courbure et la distance focale était énorme. Il y en avait une sous Louis XIV à l'Observatoire de Paris, qui mesurait 300 pieds de longueur! Elle ne pouvait cependant grossir que trois cents fois.

La découverte de l'achromatisme permit de construire des objectifs à l'aide de deux lentilles juxtaposées, complémentaires l'une de l'autre, et d'obtenir des images pures et de court foyer.

En 1823, Lerebours acheva une lunette de 24 centimètres de diamètre et de $3^m,50$ de longueur focale; l'année suivante, Frauenhofer termina une lunette du même diamètre et de $4^m,53$ de longueur focale pour l'Observatoire de Dorpat. C'étaient alors les plus grandes lunettes du monde.

En 1829, on essaya à l'Observatoire de Paris une lunette de 33 centimètres de diamètre et de 8 mètres de longueur, construite par Cauchoix. Cette lunette est maintenant à l'Observatoire de Dublin.

L'opticien Merz, de Munich, termina en 1838 un objectif de 38 centimètres et de 7 mètres de distance focale pour l'Observatoire de Pulkowa en Russie. Cette lunette est restée longtemps le meilleur instrument de ce genre. On lui doit de brillantes découvertes.

En 1840, Lerebours termina pour l'Observatoire de Paris un objectif de 38 centimètres de diamètre et de 8 mètres de foyer. Les Anglais construisirent à la même époque une lunette de mêmes dimensions pour l'Observatoire de Cambridge.

De 1850 à 1860, plusieurs grandes lunettes ont été construites en France par Dien et Porro (52 centimètres d'ouverture).

En 1861, l'Observatoire de Chicago s'est fait construire par Alvan Clark, de Boston, une lunette dont l'objectif a un diamètre de 47 centimètres. L'Observatoire de Cincinnati possède une lunette équivalente.

En 1868, M. Newall, fabricant de câbles sous-marins en Angleterre, fit construire une lunette dont l'objectif mesure 63 centimètres ; les constructeurs sont Cook et fils, d'York.

L'Observatoire de Vienne possède depuis quelques mois seulement un objectif de 65 centimètres d'ouverture construit par Grubb, de Dublin.

Ces grands instruments vont être encore surpassés.

On construit en ce moment :

Une grande lunette de 80 centimètres de diamètre et 16 mètres de distance focale pour l'Observatoire de Pulkowa. Constructeur : Alvan Clark ;

Une lunette de 77 centimètres d'ouverture et 18 mètres de longueur focale pour l'Observatoire de Nice. Constructeurs : MM. Henry frères, de Paris ;

Un objectif de 73 centimètres pour l'Observatoire de Paris. Constructeur : M. Martin.

Grands télescopes à miroir de verre argenté. — Télescope de l'Observatoire de Paris ; diamètre du miroir : $1^m,20$.

Télescope de l'Observatoire de Toulouse : 84 centimètres.

Télescope de l'Observatoire de Marseille : 80 centimètres.

Les disques de verre qui ont servi à faire ces miroirs de télescope ont été fournis par la manufacture de glaces de Saint-Gobain.

Grossissement utile. — De même que le pouvoir optique ou le pouvoir séparateur d'un instrument parfait dépend seulement du diamètre utile de son objectif ; de même aussi l'ouverture de cet instrument limite la valeur maximum du grossissement qu'on lui doit utilement appliquer. L'image focale donnée par l'objectif est pour ainsi dire une photographie dont les détails sont de plus en plus séparés à mesure que l'ouverture de l'instrument augmente. Mais pour apercevoir nettement les détails, il convient de ne pas diminuer au delà d'une certaine limite l'éclairement de l'image focale, c'est-à-dire de ne pas augmenter au delà d'une certaine limite le grossissement employé. L'expérience a montré que le grossissement maximum utilement employé était égal au double de l'ouverture exprimé en millimètres. Ainsi pour un objectif de 75 centimètres de diamètre comme celui qui est en construction pour l'Observatoire de Meudon le grossissement maximum qu'il sera utile d'employer est de quinze cents fois.

Verres à lunettes. — Jusqu'en ces derniers temps, la fabrication, par soufflage ou par la taille, des verres à lunettes, se bornait à la préparation de deux sortes de verres, verres concaves pour myopes, verres convexes pour presbytes.

Il ne faudrait pas dire cependant, comme on le répète toujours, que la presbytie est le contraire de la myopie. Une myopie peut exister avec une presbytie. Ainsi un myope âgé peut devenir presbyte sans cesser d'être myope ; il lui faudra des verres concaves pour voir au loin et des verres convexes pour distinguer les objets voisins.

Mais le point sur lequel nous devons attirer l'attention est peu connu en dehors des spécialistes. Contrairement à l'opinion régnante, ni la presbytie

ni la myopie ne constituent les défauts de la vue les plus répandus. Le plus fréquent des défauts de la vue, c'est l'astigmatisme, et le public, qui va chercher des pince-nez chez le premier opticien venu, ne se doute pas de la généralité de cette affection. On peut dire que l'astigmatisme se rencontre chez des milliers et des milliers de personnes. On voit mal, donc on est myope; on ne distingue que de loin, donc on est presbyte. Et vite on court chez le premier marchand de bézicles chercher des verres dont le plus petit inconvénient est d'augmenter souvent le mal à la longue. L'astigmatisme a une toute autre cause que la myopie ou la presbytie. En indiquant ce défaut sous le nom d'astigmatisme, Wewell a voulu rappeler que dans les yeux qui en sont affectés l'image d'un point lumineux extérieur ne vient pas se peindre en un point mathématique de la rétine. C'est encore Yung qui découvrit l'astigmatisme. Si la forme de l'œil n'est pas parfaitement symétrique par rapport à son grand axe, si les courbures ne sont pas égales, si les milieux liquides qui les constituent ne sont pas également réfringents, si le cristallin n'a pas la même courbure en tous les sens, il est bien clair que la marche des rayons lumineux sera altérée, les deux parties de l'œil ne les enverront pas de la même façon sur la rétine, et, au lieu d'un point unique, on percevra plusieurs points, une petite traînée lumineuse, et la vue manquera de netteté, et le meilleur des verres concaves ou convexes ne remédiera pas à ce défaut de la vision. Dès 1827, l'éminent directeur de l'Observatoire de Greenwich, M. Airy, se plaignait de ce que, malgré le secours d'un verre convexe, son œil gauche voyait les étoiles sous forme de traits lumineux. Il s'aperçut ensuite que pour son œil gauche, une croix tracée sur un papier n'était nettement visible à aucune distance. En inclinant le papier un peu, il finissait par distinguer nettement un des bras de la croix ou l'autre, mais jamais les deux à la fois. Airy était astigmate. Et à côté de lui il y en a bien d'autres. Il est très rare que les yeux n'offrent pas certaine dissymétrie dans leurs formes et soient des « solides de révolution » parfaits, comme disaient les géomètres.

Comment remédier à cette inégalité de forme de l'œil? Les verres ordinaires, par leur concavité ou leur convexité, ne peuvent rétablir la symétrie de forme de l'œil. C'est à Goulier, alors capitaine du génie et professeur à l'École d'application de Metz, que revient l'honneur d'avoir reconnu l'extrême fréquence de l'astigmatisme et d'avoir, le premier, trouvé le moyen d'y remédier. Il a rendu une bonne vue à un grand nombre de personnes au moyen des verres aussi, mais des verres *cylindriques* et non plus sphériques. Dans un long cylindre, on découpe ces verres dont la courbure est, par conséquent, produite dans le sens transversal. La courbure, bien calculée selon le défaut observé, corrige la dissymétrie de l'œil ou des yeux. La découverte de Goulier, consignée dans un paquet cacheté à l'Académie des sciences le 22 juillet 1852 fut rendue publique en 1865.

Mais ici le rôle de l'oculiste est autrement important que dans la détermination du degré de myopie ou de presbytie. Comment apprécier l'astigmatisme et les courbures dissymétriques de l'œil? En 1854, Helmholtz, le grand physiologiste physicien dont on déplore la mort récente, imagina l'ophtalmo-

mètre, instrument de haute portée, puisqu'il donne le moyen de mesurer rigoureusement sur le vivant les rayons de courbure de la cornée. Ce premier instrument était compliqué d'une manœuvre très délicate.

Vingt-cinq ans après Helmholtz, M. le docteur Schiotz, de Christiania, vint passer un an au laboratoire d'ophtalmologie de la Sorbonne, dirigé par M. le docteur Javal. L'éminent ophtalmologiste et son élève, M. Schiotz, parvinrent, après de laborieuses recherches, à simplifier l'invention de Helmholtz et à faire construire par M. Laurent un ophtalmomètre si pratique qu'en une journée il leur fut possible d'effectuer plus de mensurations d'astigmatisme qu'il n'en avait été fait en vingt-cinq ans avec l'ophtalmomètre primitif. Aujourd'hui M. le docteur Javal fait des mensurations aussi vite que s'il s'agissait simplement de déterminer des verres de myope. En même temps, le docteur Cuignet, médecin militaire, imaginait un procédé d'examen de l'œil qui a été perfectionné et introduit dans la pratique par le docteur Parent, de Paris, sous le nom de *skiaskopie*. Avec ces deux procédés, ophtalmomètre et skiaskopie, tout oculiste est momentanément en état de reconnaître rapidement l'astigmatisme et d'en évaluer l'importance.

Or, c'est là un grand bienfait, car l'astigmatisme, s'il dépasse certaines limites, devient l'origine de maux d'yeux multiples. Les yeux, sous l'influence de la fatigue, refusent le service, contractent des inflammations qui résistent à tous les collyres et qui disparaissent comme par enchantement avec des verres appropriés.

Verres de lorgnettes, dites « jumelles ». — La fabrication des verres de jumelles présente des difficultés spéciales. Une jumelle sert en même temps pour les deux yeux, il est donc nécessaire que ses deux parties soient aussi semblables que possible.

Les plus petites différences que présentent les verres dans leur effet optique se traduisent par une difficulté d'accommodement de la vue, d'abord insensible, mais qui devient bientôt fatigante, insupportable. De là, des précautions minutieuses et la nécessité d'être toujours attentif au choix et à l'appareillage des verres.

De nombreux instruments très délicats ont été inventés pour permettre d'obtenir cette identité des objectifs et afin d'étudier les différences qu'ils peuvent présenter, soit au point de vue de la matière employée, soit au point de vue du travail et des résultats cherchés. M. Lemaire, fabricant à Paris, a poussé ces précautions très loin; et dans son usine on y pratique l'appareillage des verres avec un soin tout particulier, et les résultats obtenus sont incontestables au point de vue de la justesse de division des jumelles qui y sont fabriquées.

Le grossissement des jumelles est limité par d'autres considérations que celles qui dominent dans les instruments monoculaires. Il est limité d'abord par les dimensions des objectifs dont la distance des centres est forcément égale à l'écartement des yeux, et aussi par le système optique de l'oculaire concave, dit de Galilée, qui fait voir les images droites et non renversées. Le diamètre d'un objectif est nécessairement moindre que l'écart des yeux; il est d'environ

67 millimètres. Mais à ces dimensions-là même, la jumelle est lourde et embarrassante, de sorte qu'on ne peut guère avoir des objectifs dépassant 40 à 45 millimètres. De même l'oculaire concave, pour maintenir les images droites, et afin de conserver un champ assez étendu, ne peut pas donner un fort grossissement qui fatiguerait trop la vue. On ne doit donc pas demander à une bonne jumelle de grossir plus de cinq à sept fois les objets, et encore ces grossissements sont-ils difficiles à obtenir. Il est une qualité que l'on doit rechercher avant tout et que l'on confond souvent avec la puissance, c'est la *clarté*.

Une bonne jumelle très claire, même lorsqu'elle grossit peu, offre un calme, une tranquillité dans les images qui reposent la vue. La clarté des objectifs dépend du bon affinage, de la limpidité des verres employés, crown ou flint, et également du travail soigné des surfaces réfringentes, de l'achromatisme aussi parfait que possible des surfaces, puis enfin des montures, barillets, bonnettes, etc., qui doivent être parfaitement appropriés aux verres et ne jamais déranger les axes optiques.

Avant de commencer le travail d'un verre (rodage, doucissage, polissage), il est nécessaire de s'assurer que ce verre n'est pas trempé. Un verre fortement trempé ne supportera pas les efforts du travail, il sera brisé en traversant les diverses phases de ce travail, et s'il ne présente qu'une trempe faible, il pourra peut-être subir le polissage, mais il ne formera qu'un mauvais objectif aux qualités irrégulières et instables. Donc il faut étudier la trempe d'un morceau de verre avant tout autre travail ; pour cela on se sert d'une propriété des rayons polarisés. Un rayon polarisé est celui dans lequel les vibrations lumineuses s'exécutent en un plan fixe et déterminé : il y a entre un rayon lumineux naturel et un rayon polarisé une différence semblable à celle qui existe entre un pendule conique et un pendule plan. On comprend donc qu'un rayon polarisé puisse traverser sans modifications un corps transparent quelconque, pourvu que ce corps n'altère pas le plan de polarisation; mais si ce corps transparent par sa structure intime, change les directions des plans de polarisation, s'il présente des directions qui seront traversées plus ou moins facilement par la vibration lumineuse, le rayon polarisé sera à la sortie différent de ce qu'il était à l'entrée. Un rayon polarisé est donc une sorte d'outil, avec lequel on peut apprécier la structure intime d'un corps transparent. C'est avec un rayon polarisé qu'on peut apprécier si un corps transparent est cristallisé, ou s'il est amorphe; s'il a subi des actions dissymétriques comme une pression dans un sens déterminé ; enfin s'il est trempé, c'est-à-dire si le refroidissement a été assez lent pour que les molécules intérieures aient pris leur place normale et régulière.

Pour savoir si un verre est trempé (1) il suffit donc de l'interposer dans le passage d'un rayon polarisé ; avant l'interposition du verre trempé, le rayon polarisé avait un certain aspect ; il était par exemple éteint. Dès qu'il est mis sur le passage du rayon, l'aspect change, le rayon devient visible, blanchâtre et quelquefois coloré.

(1) Voy. *Procédé pour reconnaître la trempe du verre*, par M. Mascart, p. 55, 56, 57.

L'appareil employé dans cet essai est très simple, il se compose de deux prismes de Nichol, entre lesquels on place le verre à étudier. Le premier Nichol polarise la lumière, le second l'analyse; on fait tourner celui-ci, jusqu'à ce que les plans de polarisation *soient contrariés* et qu'il ne passe aucun rayon du premier Nichol à travers le second. Pour peu que le verre interposé présente quelques points de trempe, ces points seront aussitôt éclairés par le rayon polarisé.

Une composition plus commode encore que l'appareil consiste à se servir du procédé de Nuremberg, et de polariser le rayon par réflexion sur une glace transparente. Le rayon venant horizontalement est rendu vertical par cette réflexion; il traverse le corps à étudier, se réfléchit sur un miroir horizontal, traverse une seconde fois le corps à étudier et vient s'analyser dans un prisme de Nichol. Ce procédé a l'avantage d'être très sensible, puisque le corps à examiner est traversé deux fois par la lumière polarisée.

Aberration de réfrangibilité. Lentilles achromatiques. — En mesurant la déviation qu'un prisme fait subir aux rayons de diverses couleurs, on

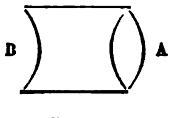


FIG. 354.

peut se convaincre que ces rayons n'ont pas le même indice de réfraction par rapport à une même substance. Cette *dispersion,* qui cause dans les images un défaut de netteté, est due à l'inégale réfrangibilité des rayons et est connue sous le nom d'*aberration de réfrangibilité,* pour la distinguer de l'aberration de sphéricité, qui ne tient qu'à la forme de la lentille.

L'aberration de réfrangibilité produit généralement dans les images fournies par les lentilles des irisations très gênantes; on diminue ces irisations, et en même temps l'aberration de sphéricité, par l'emploi des *lentilles achromatiques.*

Celles-ci sont composées en général de deux lentilles juxtaposées: l'une convergente A en verre ordinaire ou crown-glass (fig. 354), l'autre divergente en cristal ou flint-glass. Les dispersions de ces deux lentilles s'exercent en sens opposé, et l'on peut, en combinant la valeur de l'indice de réfraction des différentes couleurs dans ces deux substances, et les rayons des lentilles, obtenir un système double dans lequel les foyers des rayons de deux couleurs choisies arbitrairement soient en coïncidence. Le calcul montre que, avec deux lentilles de substances différentes, on ne peut pas amener à coïncider les foyers de plus de deux couleurs. L'aberration de réfrangibilité n'est donc pas détruite entièrement, mais elle est très diminuée.

L'indice de réfraction des verres d'optique, flint et crown, est en raison directe de la densité de ces verres.

La qualité recherchée pour le crown est une grande réfringence et une faible dispersion.

Pour le flint, au contraire, une faible réfringence et une grande dispersion sont nécessaires. Dans les verres ordinairement employés, le flint possède toujours un indice de réfraction sensiblement supérieur à celui du crown.

Voici les indices de réfraction des verres qui sont le plus souvent employés :

Crown, de 1,517 à 1,529 ;
Flint, de 1,613 à 1,626.

Ces indices se rapportent à la raie D.

Voici, du reste, quelques tableaux donnant des indications utiles sur les indices de réfraction, et les densités de différents corps vitrifiés.

TABLEAU DES INDICES DE RÉFRACTION POUR LES SEPT RAIES PRINCIPALES DU SPECTRE

NUMÉROS.	CORPS MONORÉFRINGENTS.	DENSITÉ.	TEMPÉRATURE.	B	C	D	E	F	G	H
	FLINTS.									
1	Feil lourd, n° 2..........	5,00	22°,5	1,7801	1,7831	1,7920	1,8062	1,8149	1,8368	1,8567
2	Rossette lourd, n° 3......	4,08	12°,4	1,6771	1,6795	1,6858	1,6959	1,7019	1,7171	1,7306
3	Feil F (1249)...........	3,68	24°,0	1,6237	1,6255	1,6301	1,6384	1,6429	1,6549	1,6647
4	Robichon..............	3,63	13°,7	1,6131	1,6149	1,6198	1,6275	1,6321	1,6435	1,6534
5	Feil B (1227)........	3,54	23°,2	1,6045	1,6062	1,6109	1,6183	1,6225	1,6335	1,6428
	CROWNS.									
6	Feil lourd (1185).........	3,00	21°,9	1,5554	1,5568	1,5604	1,5658	1,5690	1,5769	1,5836
7	Feil (1200)..............	2,80	21°,2	1,5157	1,5166	1,5192	1,5234	1,5256	1,5313	1,5360
8	Rossette, n° 1...........	2,55	18°,4	1,5226	1,5237	1,5265	1,5307	1,5332	1,5392	1,5442
9	Saint-Gobain (glace brute).	2,50	17°,8	1,5244	1,5251	1,5280	1,5320	1,5343	1,5397	1,5443
10	Feil léger (1228).........	2,49	23°,5	1,5126	1,5134	1,5160	1,5198	1,5222	1,5278	1,5323
	FLINTS LÉGERS									
11	Rossette, n° 1...........	3,44	19°,5	1,5966	1,5982	1,6027	1,6098	1,6141	1,6246	1,6338
12	Feil (1226)..............	3,24	22°,0	1,5766	1,5783	1,5822	1,5887	1,5924	1,6018	1,6098
13	Rossette, n° 2...........	3,22	18°,4	1,5659	1,5675	1,5715	1,5776	1,5813	1,5902	1,5979
14	Feil très léger (1232).....	2,98	23°,2	1,5609	1,5624	1,5660	1,5715	1,5748	1,5828	1,5898

Dans le tableau ci-dessus on trouve les indices de réfraction de quelques-uns des verres, flint, flint léger et crown, qui se trouvent dans le commerce et qui sont employés dans les appareils d'optique et de photographie. Les indications qui accompagnent ces échantillons ont été données par les fabricants eux-mêmes.

Ces indices de réfraction ont été rapportés aux raies visibles du spectre. Ils ont été mesurés par M. J.-B. Bayle.

Voici quelques indices de réfraction pris sur divers verres ou corps vitrifiés qui pourront être de quelque utilité aux personnes s'occupant des propriétés optiques de ces corps :

CORPS MONORÉFRINGENTS.	INDICE DE RÉFRACTION.	PARTIE DU SPECTRE.	AUTEURS.
Diamant incolore	2,414 2,428	Rouge (2) Vert (2)	(2) Des Cloizeaux.
— brun	2,487		
Glace Saint-Gobain { ancienne . . 1,505 à	1,510		
— { nouvelle . . 1,525 à	1,540		
Grenat almandine d'un beau rouge	1,772	Rouge (2)	
Hyalite sans action sur la lumière polarisée.	1,4374	Rouge (1)	(1) De Senarmont.
Obsidienne enfumée du Mexique	1,482 1,485	Rouge lie (2) Jaune (2)	
Opale incolore à peine laiteuse	1,442	Rouge (2)	
— incolore chatoyante de Guatemala	1,446	Rouge (2)	
— de feu jaune foncé de Guatemala	1,450	Rouge (2)	
Quartz fondu	1,449 1,457	Rouge (1)	
Spath-fluor vert dichroïde	1,433 1,435	Rouge (2) Jaune (2)	
Spinelle d'un joli rose	1,7121 1,7155	Rouge lie (2) Jaune (2)	
Verre antique de Pomponiana, { verdâtre.	1,519	Jaune (2)	
près Hyères (Var) { jaunâtre.	1,512	Jaune (2)	
Verre de thallium (densité 4,1)	1,690	Raie D (6)	(6) Lamy.

NOUVEAUX VERRES D'OPTIQUE.

On parle depuis quelque temps d'un nouveau verre d'optique fabriqué en Suède. D'après une des nombreuses notices qui en traitent (*Diamant*, 1889, p. 347), ce verre serait très dur, d'une transparence absolue et capable de prendre un poli parfait. Ces résultats seraient obtenus pour l'addition d'un peu de phosphore et de bore à la composition. (Apparemment c'est d'acide phosphorique et d'acide borique qu'il s'agit, car le Ph et le Bo se volatiliseraient ou coloreraient le verre.)

Mais la propriété la plus importante de ce verre, c'est qu'on en peut faire des lentilles parfaitement achromatiques, c'est-à-dire sans aucun cordon coloré. Les microscopes qu'on en a fabriqués permettent de reconnaître des grosseurs de 1/820.000, alors que les meilleurs verres employés jusqu'à ce jour s'arrêtaient à 1/16.000. Le grossissement serait donc cinq cents fois plus grand. Si tous ces avantages se vérifient, ce nouveau produit est évidemment destiné à révolutionner les sciences et les instrments d'optique. Il y a donc tout lieu de s'y intéresser.

Les nouveaux verres d'optique fabriqués à Iéna, après avoir autrefois été fabriqués en France, dans de mauvaises conditions, sont intéressants en ce sens que le pouvoir dispersif est presque indépendant de l'indice de réfraction pour une raie donnée, ou plutôt de ce que l'on peut réaliser plusieurs

verres ayant, avec le même indice, des pouvoirs dispersifs très divers et inversement.

Cela a permis en particulier la construction de ce qu'on a appelé à Iéna des lentilles de caractère anormal.

Au point de vue photographique, ceux de ces verres qui ont le plus grand intérêt sont :

1° Les crowns à haute dispersion;

2° Les crowns au baryum, relativement très peu dispersifs quoique assez réfringents;

3° Les flints au baryum, intermédiaires entre les crowns et les flints ordinaires.

L'étude de la fabrication de ces verres, reprise en France depuis quelques mois, a déjà donné des résultats remarquables, et tout fait espérer que dans un bref délai nous ne serons plus, pour ces nouvelles matières, tributaires de l'Allemagne.

M. Mantois fabrique maintenant les plus essentiels de ces verres nouveaux, qui sont très transparents et paraissent très solides.

M. Wallon, professeur au lycée Janson de Sailly, a étudié les nouveaux verres; il a déterminé leurs caractères, qu'il a rendus nettement appréciables par une représentation graphique.

Il a dressé des courbes en prenant pour abscisses l'indice, pour la raie D, et pour ordonnées le pouvoir dispersif calculé par

$$\frac{n_p - u\,D}{u\,D - 1}$$

n_p étant l'indice pour la raie violette du l'iridium.

Le seul examen de ces courbes suffit à montrer que l'on peut trouver, grâce aux verres nouveaux des substances présentant, avec un indice de réfraction qui reste sensiblemeot le même, des pouvoirs dispersifs très différents ou inversement, et que par suite, des combinaisons nouvelles deviennent possibles.

PHARES

Les anciens marins, privés du secours de la boussole, sans montres, sans cartes, avaient pour points de repère les phares ou tours éclairées, qui leur permettaient de reconnaître leur position par rapport à la Petite Ourse, leur seul guide à travers leurs voyages. Ces tours leur faisaient distinguer les ports, éviter les écueils, les atterrissements, et leur permettaient de continuer leurs courses au delà de la durée du jour.

Le temps, les éléments, les hommes, ont détruit et effacé les derniers vestiges des tours que la prévoyance des anciens avait élevées sur les bords de plusieurs mers, et les archéologues retrouvent à grand peine sur les promontoires où ils brillaient jadis, la trace des feux qui guidèrent tant de flottes renommées.

Le plus ancien phare dont l'histoire fasse mention est celui du promontoire de Sigée. Le Pirée et la plupart des ports de la Grèce avaient des phares. Le

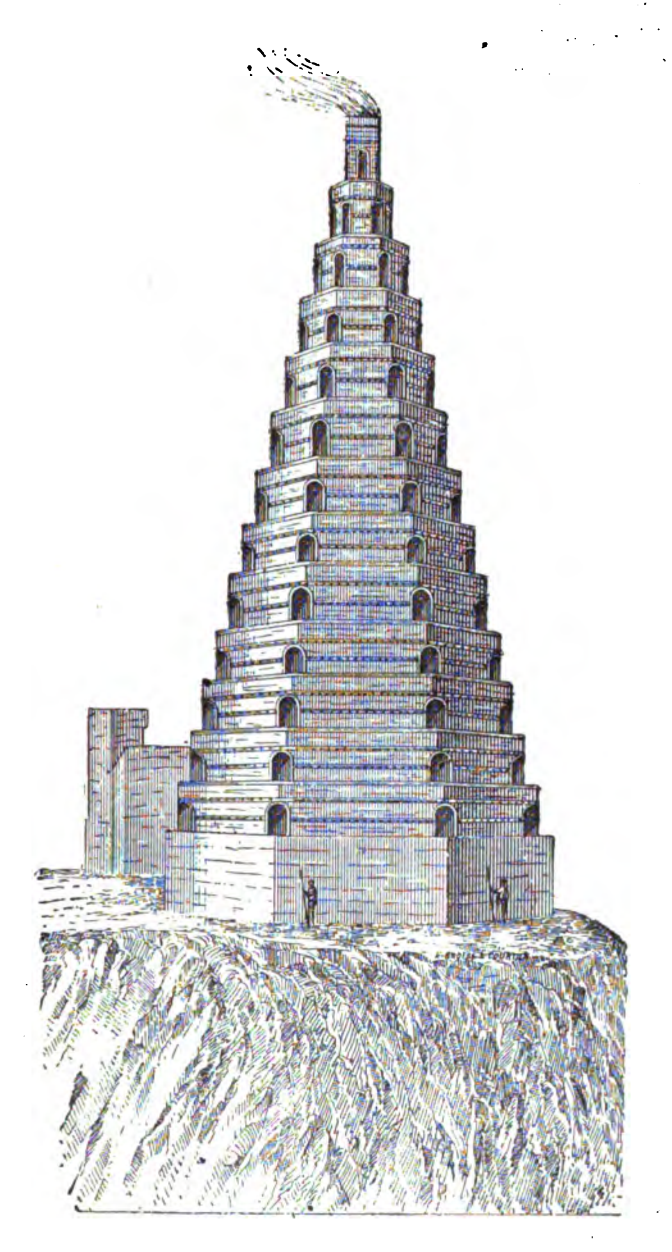


Fig. 355.

plus célèbre est celui que construisit Ptolémée Philadelphe (270 avant Jésus-Christ) à l'entrée du port d'Alexandrie; ce phare passe pour avoir donné

à tous les appareils et constructions du même genre son propre nom, qu'il tirait lui-même de l'île de Pharos, sur laquelle il s'élevait.

Les Romains ont construit un grand nombre de phares à l'imitation de celui d'Alexandrie ; d'après Suétone, Tibère en fit élever un à Ostie sur le plan de celui d'Alexandrie. Pline cite les phares de Ravenne et de Pouzzoles. Les côtes

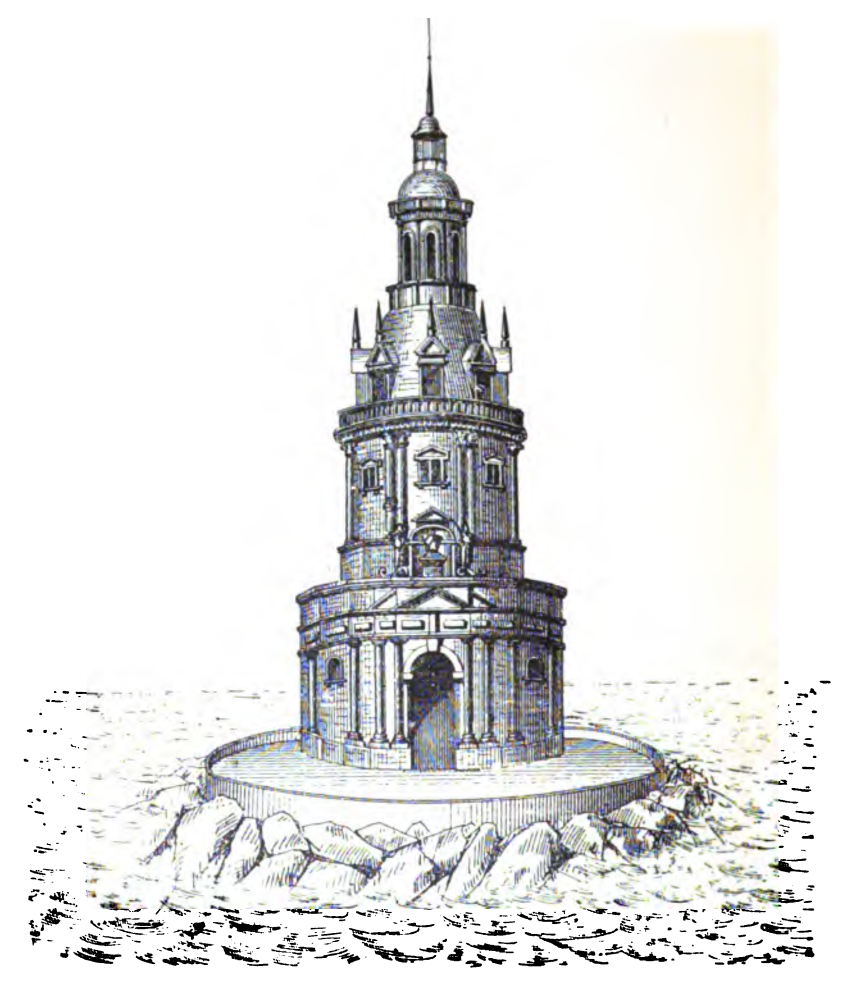


Fig. 356.

de France et de la Grande-Bretagne étaient rendues plus facilement abordables aumoyen de phares datant de la domination des Romains dans les Gaules; en 1643, on voyait encore les ruines de celui de Boulogne-sur-Mer. Ce phare était nommé par les Boulonnais « Tour d'ordre » (fig. 355), traduction du latin *turris ordens*, corruption de *ardens* qui doit signifier tour enflammée.

Pendant longtemps les phares ont été éclairés par des feux de bois ou de charbon, par des torches de résine, ou bien encore par des lampes grossières

formées de mèches de coton plongeant dans l'huile ou dans le suif. L'invention des lampes à double courant d'air, par Argand, en 1784, fut le premier progrès réalisé ; puis, on augmenta par des réflecteurs le pouvoir de ces lampes. En 1786, Borda fit exécuter, pour le port de Dieppe, un appareil tournant, d'après le

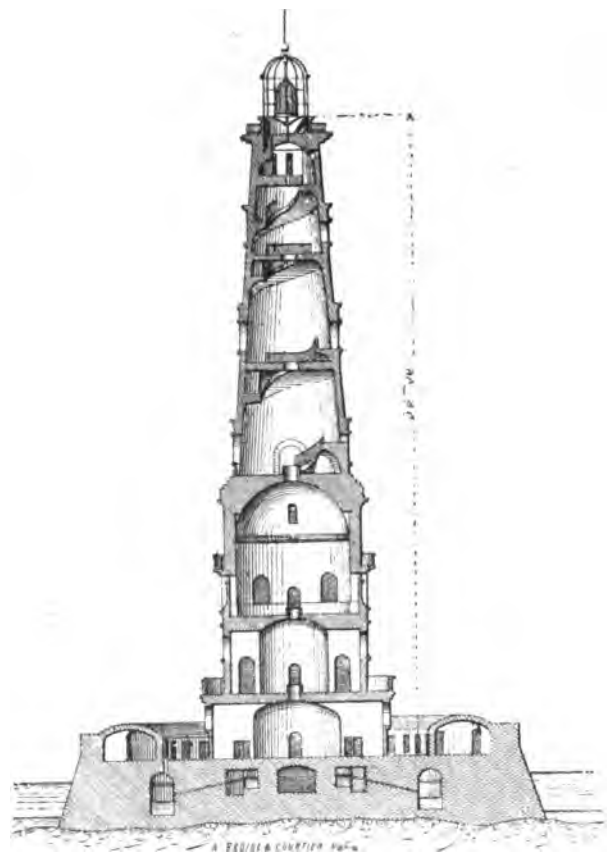


Fig. 356 *bis.*

projet de l'ingénieur Teulère. Enfin en 1821, Fresnel imagina les phares lenticulaires et le premier appareil de ce genre fut installé en 1822, sur la tour de Cordouan. Aujourd'hui, non seulement on ne construit plus d'appareils à réflecteurs, mais ceux existants sont partout remplacés par des appareils lenticulaires.

La Grande-Bretagne a donné l'exemple de la création de nombreux phares le long de ses côtes; cet exemple a été suivi et en France on compte actuellement près de trois cents phares de divers ordres, en 1830 il en existait seulement soixante-trois.

Arago et Fresnel, cherchant à augmenter la puissance éclairante des phares, réunirent plusieurs mèches, lesquelles recouvertes constamment d'huile, comme dans la lampe Carcel, se carbonisent très lentement; ils déterminèrent ensuite la distance à laisser entre les mèches concentriques pour obtenir le maximum

de lumière; une disposition ingénieuse leur permit aussi d'allonger à volonté la cheminée de verre. Comme on le voit, Fresnel a non seulement substitué les lentilles de verre aux réflecteurs métalliques, mais il a aussi perfectionné la source lumineuse des lampes de phares.

LENTILLES POUR PHARES

Principe de la construction. — Le but que l'on se propose d'atteindre est d'avoir une grande surface réfringente afin de projeter une grande quantité de lumière qui émette des rayons parallèles. Afin d'éviter les aberrations qui existeraient nécessairement avec une surface unique, on forme des *lentilles à échelons.*

Sur une lame à faces parallèles M (fig. 357) on applique :

1° Une lentille plan convexe L de faible ouverture angulaire et dont le foyer est en F;

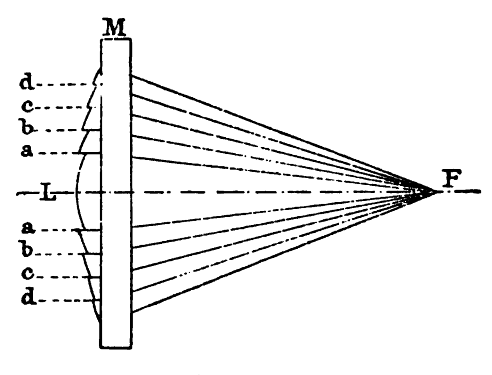


FIG. 357.

2° Une série d'anneaux *a, b, c,* dont les surfaces convexes sont calculées de telle sorte que toutes aient leur foyer en F.

L'ensemble de ces anneaux et de la lentille L produit à peu près le même effet qu'une lentille de surface égale à la surface totale et dont le foyer serait en F.

La lentille Fresnel, ou à échelons, absorbe à peu près un vingtième de la lumière incidente; de plus, elle est d'une fabrication très facile, puisqu'il ne s'agit plus de masses de verre peu maniables, mais de simples cercles d'un poids relativement faible; enfin, l'entretien de ces appareils est aussi simple qu'on peut le désirer.

Tout appareil lenticulaire se compose d'un foyer formé d'une flamme d'huile ou de gaz, ou d'une lumière électrique, entourée de lentilles en verre. Ces lentilles sont destinées à dévier les rayons divergents qui émanent du foyer et à les diriger vers l'horizon au lieu de les laisser se perdre dans le ciel ou éclairer inutilement la mer dans le voisinage du phare. Les rayons qui vont du foyer à l'horizon n'ont pas besoin d'être déviés. Tous les autres doivent subir une

déviation d'autant plus grande qu'ils font un angle plus grand avec le plan horizontal.

Tant que cet angle ne dépasse pas 40 degrés, la déviation peut être obtenue au moyen d'une lentille à échelons ayant son foyer principal au foyer même

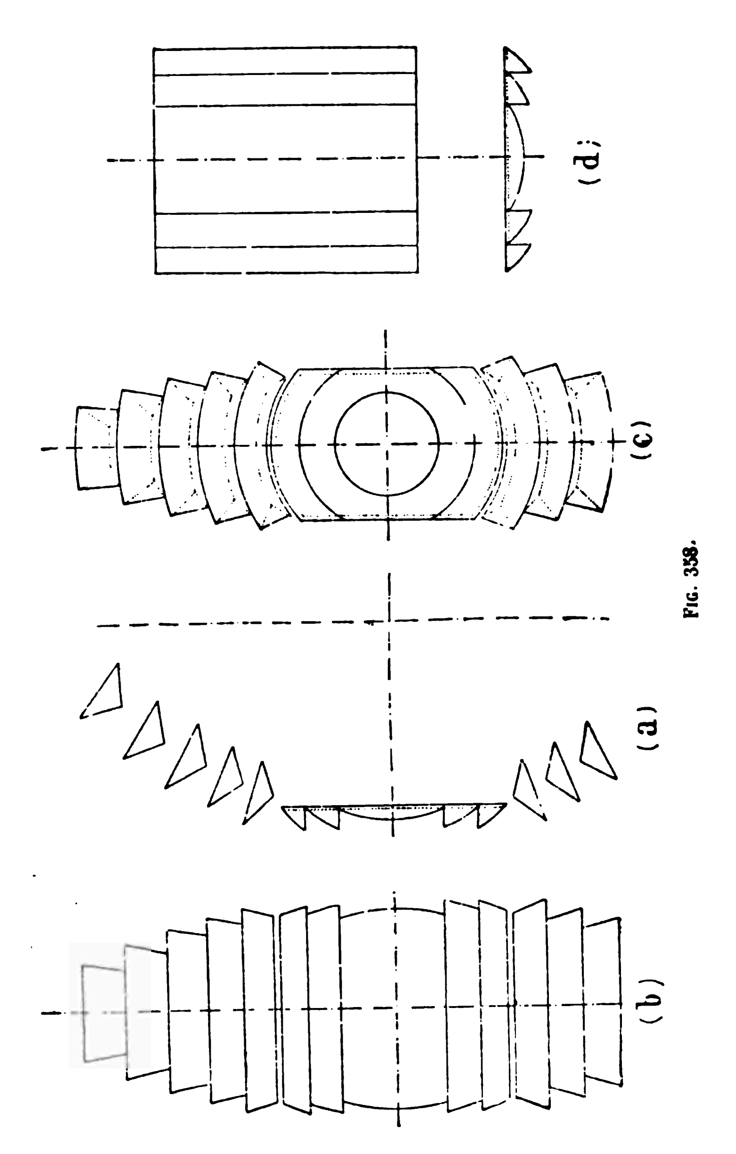


Fig. 358.

du phare. Le foyer principal est en effet le point commun de croisement, derrière la lentille, de tous les rayons dirigés sur elle, parallèlement à son axe, et, réciproquement, tous les rayons divergents dirigés de ce prisme sur la lentille sortent de celle-ci avec une direction parallèle à son axe.

Au delà de 40 degrés et le plus souvent même avant d'avoir atteint cette

limite, on se sert de la réfraction et de la réflexion pour amener les rayons à la direction horizontale. Ils subissent une première déviation en pénétrant dans un prisme triangulaire en verre, viennent ensuite rencontrer une autre surface de ce même prisme sous un angle tel qu'ils sont totalement réfléchis, et sortent

Appareils de troisième ordre.

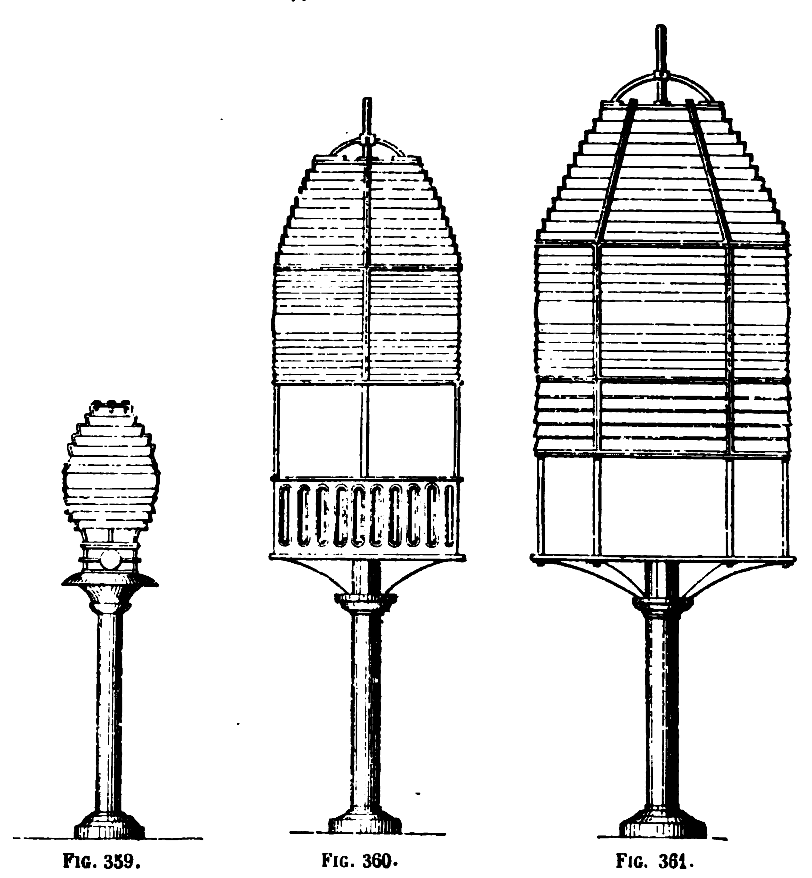


Fig. 359. Fig. 360. Fig. 361.

enfin par la troisième surface qui les dévie une dernière fois par réfraction et achève de leur donner la déviation voulue.

Les prismes qui agissent par réfraction et par réflexion ont reçu le nom de prismes ou de *zones catadioptriques*. On appelle *tambour dioptrique* la portion de l'enveloppe lenticulaire qui n'agit que par réfraction.

Le profil figuré (*a*, fig. 359), calculé pour produire les effets qui viennent d'être décrits, engendre des anneaux de forme différente suivant qu'on le fait tourner autour de l'axe vertical du phare ou autour de son axe horizontal.

Dans le premier cas (*b*) les rayons sont rendus parallèles seulement dans le plan vertical et restent divergents dans le plan horizontal; dans le second cas (*c*), les rayons sont amenés au parallélisme dans les deux plans et forment un faisceau parallèle ayant le panneau optique pour point de départ.

La première forme d'optique est employée dans les *phares à feu fixe* et donne une lumière également visible de tous les points de l'horizon. On nomme les pièces optiques de ces phares *panneaux de feu fixe*. La seconde forme est employée dans les *phares à éclats* ou *phares tournants;* elle concentre la

Appareils de second ordre.

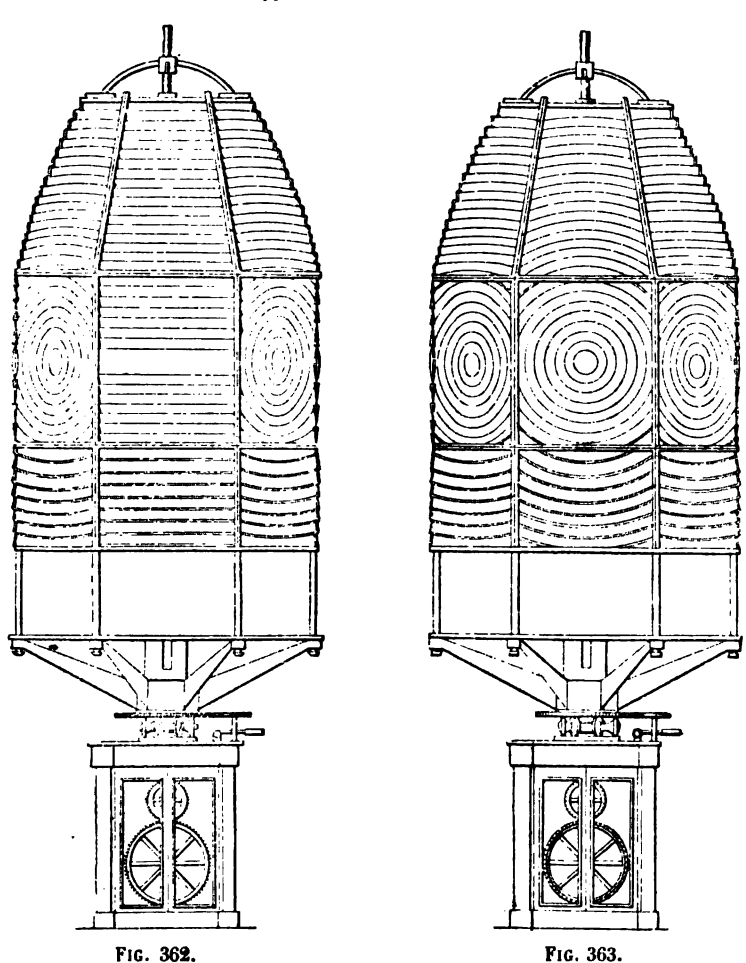


Fig. 362. Fig. 363.

lumière en un nombre plus ou moins grand de faisceaux séparés par des intervalles obscurs. Les pièces optiques qui composent ces phares se nomment *panneaux annulaires*.

On peut encore produire des *éclats* en plaçant en avant du tambour optique de l'appareil de feu fixe des lentilles verticales (*d*) qui rendent parallèles dans le plan horizontal les rayons déjà rendus parallèles dans le plan vertical. Ces lentilles verticales tournent autour du foyer, et leur passage devant le tambour cylindrique, de même que le passage des lentilles annulaires devant le foyer,

amène la concentration de la lumière en faisceaux parallèles séparés par des intervalles d'ombre et promène ces faisceaux tout autour de l'horizon.

Appareil de premier ordre.

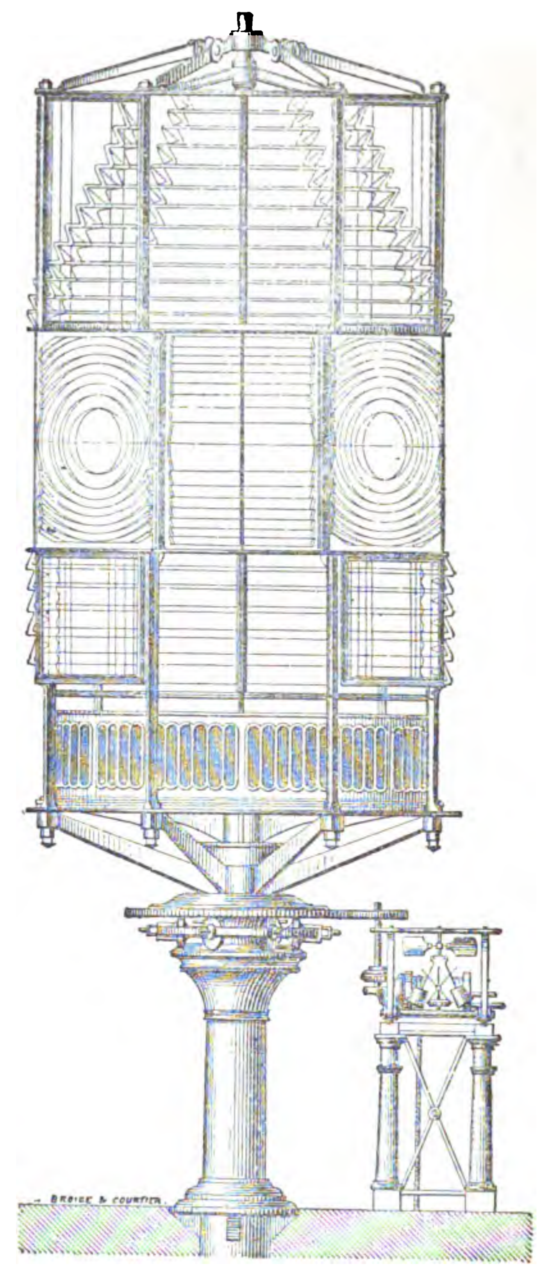


FIG. 364.

Lorsque le phare n'est pas destiné à être vu tout autour de l'horizon, on place dans l'angle non éclairé des réflecteurs sphériques qui renvoient la lumière qui les frappe sur les panneaux optiques qui leur sont diamétralement opposés et augmentent, dans cette direction, l'intensité de la lumière.

Pour obtenir des faisceaux lumineux même divergents et nettement limités on se sert de foyers plus petits, placés à une grande distance du réflecteur ou du réfracteur, et on construit les appareils de manière à supprimer l'aberration de sphéricité. C'est le résultat auquel est parvenu M. le colonel Mangin dans les miroirs aplanétiques qu'il a imaginés pour la projection de la lumière électrique à de grandes distances. Ces miroirs sont en verre, avec une surface convexe argentée et une surface concave qui ne l'est pas. Les rayons de courbure de ces deux surfaces sont tels que l'aberration de sphéricité par réfraction de la surface concave, corrige l'aberration de sphéricité par réflexion de la surface convexe, et que le résultat est le même qu'avec une surface réfléchissante parabolique. On a pu construire par ce procédé des miroirs de $0^m,90$ d'ouverture recueillant toute la lumière d'un foyer de 2 centimètres de diamètre dans un angle de 85 degrés et la transformant en un faisceau n'ayant pas plus de 2 degrés de divergence.

En plaçant sur le trajet de ce faisceau et perpendiculairement à son axe, des lentilles verticales à section plan-convexe, on a pu l'étaler horizontalement sans augmenter sa divergence verticale. En remplaçant les lentilles plan-convexes par un système de lentilles plan-convexes et plan-concaves, à écartement variable, on a pu faire varier à volonté la divergence du faisceau, ce qui peut être utile dans certains cas, comme par exemple lorsque les dangers à signaler sont susceptibles de se déplacer ou ont une étendue variable.

D'une manière générale il est toujours possible de distribuer comme on veut, dans des points quelconques de l'horizon, la totalité de la lumière d'un appareil.

Dans le choix d'un appareil de phares on se préoccupe :

1° *De son intensité lumineuse ;*

2° *De son apparence ;*

3° *De l'arc de l'horizon à éclairer.*

1° *Intensité lumineuse.* — Au point de vue de l'intensité lumineuse on distingue sept ordres d'appareils.

Chaque ordre est caractérisé, sauf dans les appareils électriques, par la distance focale, c'est-à-dire par la plus courte distance du foyer lumineux au réfracteur en verre qui l'entoure.

Les trois premiers ordres, ou grands ordres, ont $0^m,97$, $0^m,70$, $0^m,50$ de distance focale. Les quatre derniers, ou petits ordres, ont $0^m,375$, $0^m,250$, $0^m,185$, $0^m,150$ de distance focale.

2° *Apparence.* — On distingue les appareils en fixes ou tournants, blancs ou colorés, simples ou associés. La même série d'apparences peut être obtenue dans tous les ordres.

3° *Arc de l'horizon à éclairer.* — Quand le phare ne doit pas éclairer tout

l'horizon, des dispositions sont prises pour utiliser dans l'angle à éclairer, au moyen de réflecteurs ou de prismes, dont nous avons parlé ci-dessus, la totalité de la lumière émise par l'appareil.

Il y a encore un genre de phares assez employé sous le nom de feu fixe à courtes éclipses qui est un mélange du feu fixe et du feu tournant.

Anciennement ce feu était composé d'un phare fixe autour duquel tournaient une ou deux lentilles verticales ayant la même section horizontale que la section verticale du tambour dioptrique de la partie centrale des feux fixes, c'est-à-dire une lentille à échelons.

Le feu présentait donc pendant un temps assez long, variable à volonté, l'apparence du feu fixe, puis au passage de la lentille une éclipse dont la durée était proportionnée à la largeur de la lentille et à sa vitesse de rotation, puis éclat au moment du passage de l'axe de la lentille, puis une nouvelle éclipse, puis un feu fixe à nouveau, etc.

Depuis l'adoption du système Holophotal, dont l'idée première revient à Alan Stevenson, ingénieurs des phares écossais, système dans lequel les prismes catadioptriques du haut et du bas concourent à l'action de la lentille dioptrique ou réfractive du centre dans les feux tournants, en ayant leur courbure autour de l'axe horizontal de la lentille, on a construit les phares à courtes éclipses comme ils sont indiqués en A sur le croquis ci-joint, la section horizontale du phare étant alors celle-ci (fig. 365).

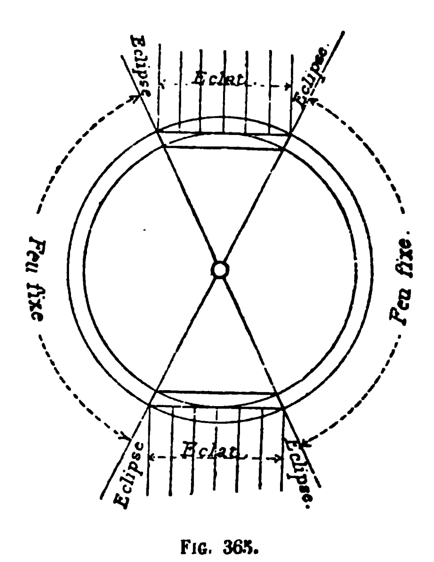


FIG. 365.

Dans ce cas l'appareil entier tourne par un mouvement d'horlogerie comme pour les feux tournants.

Nous ne pouvons ici entrer dans plus de détails au sujet de la construction et de la disposition des appareils de phares, nous renvoyons le lecteur aux traités spéciaux, notamment au *Mémoire sur l'éclairage et le balisage des côtes de France*, par Léonce Reynaud, inspecteur général des ponts et chaus-

sées, directeur des phares (1864) et au ***Mémoire sur l'intensité et la portée des phares lenticulaires***, par E. Allard, ingénieur en chef des ponts et chaussées, attaché au service des phares (1876).

Cinq établissements, dont trois en France, un en Angleterre, un en Allemagne, sont consacrés à la fabrication des appareils lenticulaires et des divers ouvrages et mécanismes qui s'y rattachent. Ce sont ceux de MM. Henry Lepaute, Sautter-Harlé et Cie, Barbier et Bénard à Paris, et de MM. Chance à Birmingham, Shukart, à Nuremberg.

Pour résoudre tous les problèmes relatifs aux miroirs sphériques, il suffit de connaître leur rayon de courbure ou leur distance focale, qui est la moitié du rayon. On mesure cette longueur de la manière suivante :

Pour les miroirs concaves, on tourne le miroir vers le soleil; il se forme alors une image réelle qui se trouve au foyer, puisque les rayons qui viennent du soleil peuvent être considérés comme parallèles; l'image étant réelle, il est facile d'en mesurer directement la distance au sommet du miroir.

On pourrait encore déplacer un objet devant le miroir jusqu'à ce que l'on trouve une position telle que l'image se forme dans le plan même de l'objet; cette condition est réalisée seulement quand l'objet est au centre du miroir; il suffit alors de mesurer la distance de l'objet au sommet du miroir; on a ainsi le rayon, et en divisant par 2, la distance focale.

Avec les miroirs convexes, le problème est un peu plus compliqué, puisqu'on n'a généralement que des images virtuelles. On recouvre alors la surface du miroir d'une feuille de papier noir sur laquelle on perce deux trous pp' et on tourne le miroir vers le soleil. On cherche la position qu'il faut donner à un écran pour que les traces RR′ des deux faisceaux lumineux réfléchis par le miroir soient à une distance double de celle qui sépare les trous p et p'. Il suffit alors de mesurer la distance G A : elle est égale à la longueur focale du miroir. En effet, les rayons qui tombent sur les points p et p' du miroir étant parallèles, les faisceaux réfléchis pR, p'R′ passent après réflexion par le foyer. Les triangles semblables $fp\,p'$, fRR′ donnent donc :

$$\frac{pp'}{RR'} = \frac{fA}{fG}.$$

Si

$$RR' = 2pp', \quad \text{on a} \quad fG = 2fA,$$

et comme $fG = fA + AG$, on en conclut $AG = fA$.

Qualité du verre pour les pièces de phares. — Ce n'est qu'avec beaucoup de peine et après bien des tentatives infructueuses qu'on est arrivé à couler les grandes pièces de verre dont se compose la partie optique des appareils des premiers ordres.

On a d'abord eu recours au procédé en usage dans la fabrication des verres d'optique pour objectifs astronomiques, c'est-à-dire au ramollissage, et l'on ne pouvait obtenir ainsi que des pièces de petite dimension qu'on réunissait bout à bout pour en faire des anneaux. Aujourd'hui le verre pris au creuset au moyen de poches en cuivre est coulé directement dans les moules ou lingotières en

fonte. On l'y laisse refroidir lentement et il en sort avec une forme qui se rapproche beaucoup de celle qu'il doit avoir après la taille.

Le verre de Saint-Gobain, exclusivement employé pour la construction des phares en France, a la composition suivante (son indice de réfraction est 1,54) :

Silice	72,1
Soude	12,2
Chaux	15,7
Alumine et oxyde de fer	traces.
	100,0

La grande proportion de silice et de chaux qui entrent dans ce verre, le rendent très dur et inattaquable à l'air; la teinte est légèrement verdâtre ; il est aussi dépourvu de fils et de stries que peut l'être un verre qui n'a pas subi les opérations du brassage, du refroidissement lent dans le creuset, du triage et du ramollissage réservées pour les verres à objectifs. Les défauts connus sous le nom de bulles ou bouillons, pierres, etc., et qui proviennent d'un affinage imparfait, y sont très rares.

Il serait facile de rendre le verre tout à fait blanc en y ajoutant une certaine proportion de plomb ; mais il deviendrait alors plus tendre et plus sujet à altération.

Les pertes que la lumière subit en traversant une pièce de verre proviennent de deux causes différentes : 1° de la réflexion d'une partie des rayons par les surfaces terminales ; 2° de l'absorption pendant le passage d'une surface à l'autre.

La perte par réflexion varie suivant le degré de poli des surfaces et l'angle d'incidence de la lumière. Avec le verre de Saint-Gobain bien poli, elle peut être évaluée à 10 pour 100 de la lumière incidente, pour les incidences comprises entre la normale et 45 degrés. Au delà de 45 degrés, la perte augmente progressivement.

La perte par absorption dépend de la nature du verre et de l'épaisseur traversée. Avec le verre de Saint-Gobain on peut l'évaluer à 1/2 pour 100 par centimètre d'épaisseur.

Les pièces de verre de forme circulaire qui forment la plus grande partie des lentilles de phares, sont travaillées sur des tours à arbre vertical et à plateau horizontal.

L'anneau coulé en une seule ou en plusieurs parties et préalablement chauffé dans un four, est collé au moyen de poix fondue sur un cercle en fonte élevé de quelques centimètres au-dessus du plateau du tour. Pendant cette opération on fait tourner le tour et on centre l'anneau à la main. Puis on laisse refroidir et on commence le travail du dégrossi. Ce travail consiste à appliquer contre la surface de l'anneau entraîné dans le mouvement de rotation du tour, un frottoir en fonte enduit de grès mouillé qui use lentement la surface du verre et en fait disparaître les inégalités. Quand elle est suffisamment lisse, on imprime au frottoir un mouvement de va-et-vient destiné à effacer les sillons creusés par les grains de sable et à donner à la surface la courbure que le calcul lui a assignée suivant

la place que l'anneau doit occuper dans la lentille. A cet effet le frottoir est emmanché au bout d'un bras assujetti à osciller entre deux pointes. La longueur du bras détermine le rayon de courbure de la surface, la position du centre détermine son inclinaison par rapport au plan horizontal. Des calibres taillés avec beaucoup de soin, sont appliqués fréquemment sur la surface au cours du travail et permettent d'en vérifier l'exactitude. Quand le verre est complètement dégrossi et qu'il ne reste plus aucun témoin de surface brute, on arrête le travail au grès et l'on passe au travail à l'émeri. L'anneau, le tour et les frottoirs sont lavés avec le plus grand soin, jusqu'à ce que toute trace de grès ait disparu. Puis on remet l'outil en marche en appliquant sur le verre non plus du grès, mais de l'émeri délayé dans de l'eau. Ce n'est que graduellement et en employant quatre espèces d'émeris de plus en plus fins qu'on amène la surface du verre à l'état désigné sous le nom de douci, et qui permet d'en entreprendre le polissage. Entre chaque changement d'émeri le tour doit être lavé et, si l'on ne fait pas ce lavage avec assez de soin, on s'expose à avoir des surfaces rayées.

Enfin, après un dernier lavage, on passe au poli, qui se fait au moyen de rouge d'Angleterre (peroxyde de fer) délayé dans l'eau et appliqué avec un pinceau sur la surface de l'anneau. Pendant cette phase de l'opération la surface en fonte du frottoir est recouverte d'un feutre.

Quelques détails de la fabrication varient suivant la nature des pièces de verre, mais toutes passent par la même série d'opérations pour arriver du brut au poli. Leurs qualités optiques dépendent principalement de l'exactitude de leurs formes géométriques et par conséquent de la bonne construction des outils avec lesquels on les travaille.

Toute inexactitude de forme se traduit par une perte de lumière.

Les déformations qui ne peuvent être évitées dans le voisinage des arêtes des prismes sont une cause de perte qu'il importe de diminuer en faisant les arêtes aussi fines que possible et en ne multipliant pas outre mesure les prismes en vue d'en réduire l'épaisseur. Il n'y aurait aucun avantage à descendre au-dessous de la largeur d'environ 10 centimètres qui est adoptée aujourd'hui pour les surfaces réfléchissantes des prismes catadioptriques des trois premiers ordres.

Tous les anneaux dioptriques, avant d'être placés dans le phare, sont vérifiés par la méthode des *foyers conjugués* qui consiste à les exposer à la lumière d'une lampe placée en avant de l'anneau à une distance connue, et dont on recueille l'image sur un écran placé de l'autre côté.

Le point auquel cette image apparaît le plus nettement est le foyer conjugué de la lampe et il est facile d'en déduire la valeur de la distance focale principale de l'anneau qui doit être égale au rayon du phare; ce n'est qu'après cette vérification et lorsqu'elle a prouvé la bonne exécution des lentilles ou des anneaux, qu'on monte ceux-ci dans leurs cadres en bronze.

Les anneaux catadioptriques ne peuvent pas être vérifiés de la même manière. Les châssis qui les portent sont formés de trois joues en bronze percées d'ouvertures un peu plus grandes que la section de l'anneau, de manière que celui-ci y entre facilement. On détermine sa position exacte en plaçant au foyer de l'appareil une petite boule représentant la flamme et en observant l'image de cette

boule d'une règle placée verticalement à une certaine distance en avant de l'appareil et sur laquelle on a marqué des traits correspondants aux centres des anneaux et de niveau avec eux. En plaçant l'œil vis-à-vis de chacun de ces traits on doit avoir l'image de la boule au centre du prisme correspondant, si celui-ci est bien placé. S'il n'est pas dans la bonne position, on l'y amène et on l'y maintient au moyen de petites cales en bois qu'on introduit entre le bord de l'alvéole et le prisme. On achève ensuite de remplir les vides avec un mastic de céruse et d'huile de lin qui au bout de quelque temps devient très dur et ne se prête plus à aucun déplacement du prisme.

On peut aussi vérifier les prismes par une méthode inverse de celle que nous venons de décrire, c'est-à-dire en plaçant l'œil au centre du phare et en observant dans chaque prisme l'image d'une lumière placée au niveau du trait correspondant de la règle.

Cette dernière méthode est la seule qu'on puisse employer quand l'appareil est en place. C'est alors la ligne de l'horizon que l'on observe, et quand son image, réfléchie par chaque prisme, vient rencontrer l'axe du phare à la hauteur que doit occuper la flamme de la lampe, on peut être assuré que réciproquement, l'image de la flamme réfléchie par le prisme sera dirigée vers l'horizon.

Il serait sans intérêt de décrire les procédés de fabrication de la partie mécanique des phares lenticulaires qui ne présentent rien de particulier. La construction de tous ces appareils constitue aujourd'hui une industrie importante et alimente plusieurs usines, en France et en Angleterre. Celle de MM. L. Sautter, Harlé et C[ie], a été le berceau de cette industrie. Elle a été fondée en 1825 par M. Soleil, sous la direction d'Augustin Fresnel, qui trouva dans l'intelligent et modeste opticien l'aide dont il avait eu besoin pour réaliser la construction des phares lenticulaires dont il avait eu l'idée et avec qui il surmonta les nombreuses difficultés que cette fabrication rencontra à ses débuts.

Aujourd'hui, l'usine de MM. L. Sautter, Harlé et C[ie] exécute tous les travaux se rattachant aux phares et aux signaux sonores. Elle s'est préoccupée spécialement de la construction de la machine électrique de Gramme et de ses applications aux phares, à la marine, à la guerre et à l'éclairage des ateliers.

M. L. Sautter a bien voulu nous donner des renseignements utiles pour la rédaction de ce chapitre.

Les nouveaux phares de France. — Dans sa séance du lundi 6 mars 1882, la Chambre des députés a adopté en première délibération le projet de loi portant ouverture d'un crédit de 8 millions de francs destiné à l'exécution des travaux proposés par M. Allard, inspecteur général, directeur du service central des phares et sur l'avis du Conseil des ponts et chaussées.

Il s'agit de remplacer dans les grands phares d'atterrage l'éclairage à l'huile de colza ou à l'huile minérale par la lumière électrique et d'installer des signaux sonores.

M. Allard a pensé que le moment était venu de poursuivre ces importantes améliorations, d'après lesquelles les phares seront visibles presque continuellement.

Le nombre des nouveaux caractères optiques proposés par M. Allard est assez considérable pour qu'on puisse différencier tous les grands feux, et il semble qu'il y a intérêt à abandonner ceux employés jusqu'ici, les feux fixes ayant une portée moindre que ceux à éclats.

Avec les nouveaux, il suffira de compter le nombre d'éclats rapprochés, séparés par une longue éclipse ou par un éclat rouge, au lieu d'avoir à évaluer comme autrefois, le nombre de secondes écoulées entre deux éclipses successives, observation déjà pénible malgré son apparente simplicité, pour l'officier de marine absorbé par les préoccupations de son service, surtout en mauvais temps.

Adoptant pour intensité la moyenne (cent vingt-cinq mille becs) entre celles qu'on obtiendrait avec les deux sortes d'appareils optiques proposés : les uns à éclats blancs et rouges, les autres à éclats uniquement blancs, et tenant compte de la fréquence proportionnelle des différents éclats de transparence au-dessous desquels l'atmosphère se maintient pendant différentes fractions de l'année, M. Allard a constaté que si l'on substituait l'éclairage électrique à l'éclairage à l'huile dans les quarante-deux phares qu'il indique, le résultat que l'on obtiendrait alors satisferait, sur les côtes de la Manche et de l'Océan, à peu près pendant les dix douxièmes de l'année, aux conditions que le système des phares à l'huile ne remplit que pendant la moitié de l'année.

Dans la Méditerranée, l'amélioration serait encore plus grande. Il n'y aurait plus d'exception que pendant vingt-quatre nuits, soit un cinquième de l'année, c'est-à-dire sept fois et demie moins qu'aujourd'hui.

L'organisation d'un système complet d'éclairage électrique sur les côtes de France implique l'installation de quarante-six phares électriques. Mais quatre d'entre eux, le phare de Gris-Nez, le phare double de la Hève et celui du Planier, sont déjà ou vont être prochainement éclairés à l'électricité, et laissant de côté quelques retranchements ou additions possibles, c'est en définitive à quarante-deux que se trouverait fixé le nombre des phares dans lesquels le nouvel éclairage devrait être introduit.

La dépense moyenne à faire pour la transformation d'un phare à l'huile en phare électrique est évaluée à 125 000 francs, ce qui, pour les quarante-deux phares appelés à recevoir cet éclairage en sus de ceux qui l'ont déjà, donnerait un total de 5 250 000 francs, mais en réalité, il conviendrait de prévoir une dépense de 7 000 000 de francs.

On peut fixer provisoirement à vingt le nombre de phares électriques auxquels il serait utile d'adjoindre des trompettes à vapeur et l'installation de chacun de ces signaux coûterait 50 000 francs. La dépense totale sur laquelle il faut compter pour doter les côtes de France d'un système complet d'éclairage électrique et de signaux sonores se trouverait donc ainsi portée à 8 000 000 de francs.

La première application de la lumière électrique fut faite en France, dans l'un des phares de la Hève, en 1863 ; deux ans après, un second appareil fut éclairé de la même manière. Cet éclairage a l'avantage d'augmenter d'une manière sensible la portée des feux, principalement par un temps brumeux.

L'apparition de la machine Gramme, son application qui a généralisé en quel-

que sorte l'emploi de l'électricité pour l'éclairage, a donné à l'administration des phares l'idée de généraliser cet éclairage pour lequel on avait hésité jusqu'ici à cause de la nécessité de remplacer les appareils optiques destinés à recevoir l'éclairage à l'huile.

Ce qui fait la supériorité de la lumière électrique sur toute autre espèce de lumière pour l'éclairage des phares, ce n'est pas tant sa plus grande intensité absolue que sa plus grande intensité *spécifique*, c'est-à-dire par centimètre carré de surface lumineuse. On sait, en effet, que deux lumières d'égale intensité, mais de dimensions différentes, placées au foyer d'un même appareil lenticulaire, donnent des faisceaux inégalement divergents et par conséquent inégalement intenses, puisque dans l'un ou dans l'autre cas la même quantité de lumière est distribuée sur des espaces plus ou moins grands.

En mesurant l'intensité d'une lumière électrique on doit se préoccuper de la manière dont la lumière est distribuée dans les différentes parties de la sphère dont elle occupe le centre.

Les foyers à courant continu sont préférables pour l'éclairage des phares. MM. Sautter et Harlé construisent des appareils spéciaux pour prendre les mesures photométriques des lampes électriques, aussi nous renvoyons le lecteur à la description de l'organisation des phares, de leur éclairage, de la disposition des lentilles, etc., détaillée dans la notice publiée par ces messieurs.

Projecteurs électriques. — L'importance des projecteurs croît de jour en jour dans la tactique navale (1). C'est le plus efficace moyen de défense que possèdent les cuirassés contre les attaques nocturnes des torpilleurs. Pour la protection des côtes et la défense des passes, les projecteurs rendent encore des services extrêmement appréciés. Aussi leur emploi se généralise-t-il de plus en plus, non seulement sur les navires de guerre, qui en possèdent maintenant chacun six et même huit, mais encore dans les blockhaus de nos forts et même dans les sections techniques de nos corps d'armée en campagne. Les premiers appareils employés pour les projections électriques étaient métalliques à section parabolique; le poli disparaissait rapidement et avec lui les propriétés réfléchissantes du miroir.

Fresnel substitua au miroir des lentilles de verre savamment combinées pour donner au faisceau lumineux un parallélisme suffisant. Son appareil était inaltérable, mais trop coûteux et d'un maniement trop délicat.

C'est pour remédier à ces inconvénients, qui s'exagèrent quand la lentille atteint de grandes dimensions, que M. le colonel Mangin a créé ses miroirs aplanétiques. On sait que le miroir Mangin est formé d'une glace taillée sur ses deux faces suivant deux sphères de rayons inégaux, et argentée sur sa face convexe. Les rayons envoyés par la source lumineuse placée du côté de la concavité du miroir sont réfléchis sur la face argentée et sortent après avoir subi une double réfraction. Le colonel Mangin a déterminé les relations

(1) Le nombre total des projecteurs actuellement en service dans le monde entier est de plusieurs milliers; on peut s'en faire une idée approximative d'après les chiffres de vente du projecteur Mangin (2 800 exemplaires) et du projecteur parabolique Schuckert (300 exemplaires); ces chiffres, comptés depuis 1887 seulement, sans parler des réflecteurs lenticulaires et autres, montrent tout l'intérêt qui s'attache à cette question.

qui doivent exister entre les rayons des deux sphères, l'indice de réfraction du crown employé, et l'épaisseur minima du miroir pour que les rayons incidents sortent suivant des directions sensiblement parallèles à l'axe optique.

Grâce à la courbure différente de ses deux faces, moyen extrêmement ingénieux d'obtenir le parallélisme des rayons émis par une source lumineuse, le miroir Mangin est employé concurremment au miroir parabolique, qui, géométriquemet, est le seul miroir qui résoudrait le problème si la source lumineuse était réduite à un point.

Les plus grands projecteurs qui aient été construits avant 1889 n'ont pas dépassé 96 centimètres d'ouverture. A l'Exposition universelle, MM. Sautter, Lemonnier ont présenté un réflecteur Mangin dont le miroir, fabriqué à

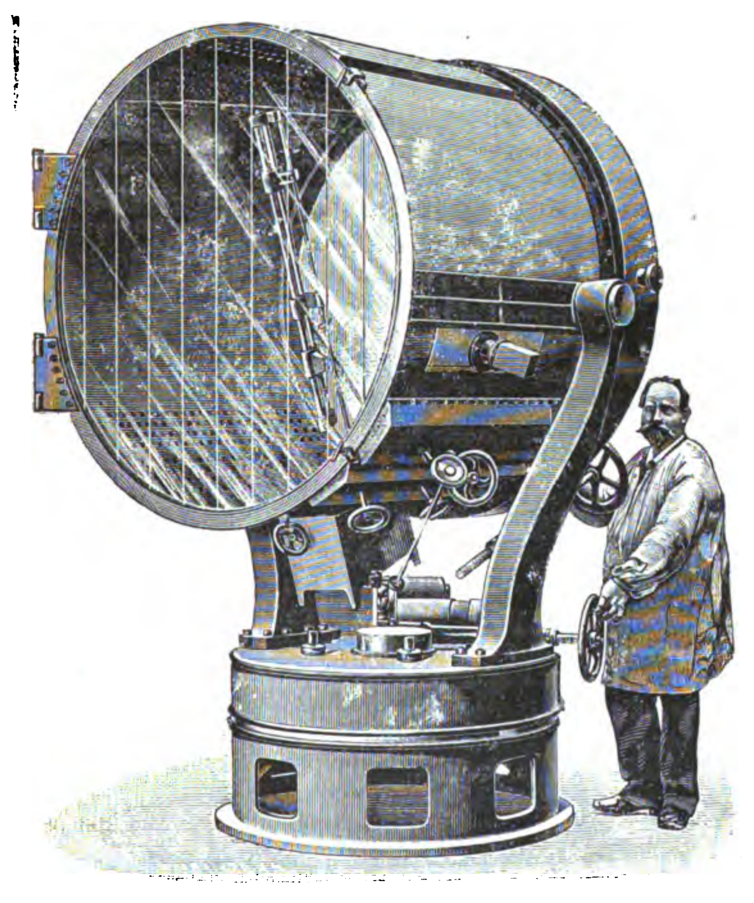


FIG. 366.

Saint-Gobain, a exactement $1^{m},50$ de diamètre. La taille a été dirigée de manière a obtenir un réflecteur dont la distance focale est seulement de 1 mètre (fig. 366).

Les propriétés optiques de ce grand miroir sont aussi parfaites que celles

des types ordinaires; l'aberration de sphéricité est rigoureusement nulle. Nous ne pensons pas que jusqu'ici il ait été construit, même pour les observations astronomiques, de miroirs d'un aussi grand diamètre.

Quant à sa puissance, il est très facile de l'évaluer. Elle serait, pour une source de même intensité, environ trois fois celle d'un miroir de 90 centimètres de diamètre. Avec les dimensions (2 centimètres) de la source lumineuse, le pouvoir amplificateur du réflecteur est de 5625. L'intensité du faisceau est donc 5625 fois celle de la source, 10 à 11.000 carcels (1), soit environ 60.000.000 de carcels ou six fois l'intensité du faisceau d'un projecteur de 90 centimètres.

Un observateur placé à 100 mètres du projecteur et regardant le miroir aura la même impression qu'en fixant le soleil dans un ciel pur, son œil recevant la même quantité de lumière.

La lampe employée est du nouveau type mixte Sautter, à électo-moteur.

Elle fonctionne automatiquement ou, si l'on veut, à la main. On sait que la manœuvre à la main donne des résultats supérieurs à ceux de la marche automatique par la taille meilleure des crayons que peut obtenir un habile expérimentateur.

Il est presque inutile d'ajouter que les dimensions de ce grand projecteur en font essentiellement un appareil fixe que l'on pourra placer au centre d'un camp retranché ou d'une place forte, ou encore pour l'éclairage d'une ligne de torpilles ou dans le voisinage d'une batterie de côte. Notre opinion, confirmée par de récentes expériences, est que, partout où il est possible de l'installer, un gros projecteur est préférable à plusieurs petits. L'avantage théorique résultant de l'augmentation de puissance est très augmenté en pratique par l'effet du contraste, lequel noie pour ainsi dire les faisceaux moins intenses dans l'éclat des rayons réfléchis par les grands projecteurs.

Les miroirs paraboliques, de même que toutes les pièces en verre obtenues par *bombage*, sont fabriqués comme suit :

On badigeonne le moule bien gratté avec du blanc d'Espagne délayé dans l'eau. On chauffe au four pour que cette première couche s'attache, puis on la recouvre à froid d'une seconde couche. De cette façon, il ne se détache aucune paillette de fer susceptible de rayer le verre pendant le bombage.

Le moule doit toujours avoir une flèche supérieure à celle à donner à la glace. Le centre de la glace doit en effet rester distant de 1 centimètre environ du fond du moule. De cette façon on empêche toute altération de la glace et notamment l'irisation. Quand la glace chauffée s'est affaissée de la quantité voulue, on cesse d'alimenter le foyer.

Pour les grandes glaces, les moules reposent par leur partie convexe sur la sole du four. Les bords sont calés par des armatures en fer afin d'empêcher les côtés de se *redresser* sous l'action de la chaleur.

(1) Nous appelons intensité de la source, l'intensité maximum mesurée au photomètre, la face du crayon positif étant tournée vers l'observateur dans la même position que celle qu'elle occupe relativement au miroir du projecteur.

Situation actuelle des phares en France. — Le nombre total des phares électriques construits, en comptant ceux qui sont en cours d'exécution, sera de treize. Les phares électriques sont des phares de grand atterrage. On a reconnu en effet par de nombreuses expériences que l'électricité donnait une puissance incomparablement plus grande que l'éclairage à l'huile. Les phares électriques sont donc destinés à remplacer les phares de leur ordre à l'huile. Quoique ces derniers soient au nombre d'une cinquantaine en France, il n'a pas été possible jusqu'à présent d'y substituer partout l'électricité : les raisons budgétaires s'y opposent.

Quoi qu'il en soit, on ne dépassera pas comme nombre de phares électriques le nombre actuel de phares de leur ordre à l'huile minérale. Il est à présumer que d'ici longtemps on s'en tiendra au nombre de treize que nous venons de citer. La France se trouve en effet la nation qui possède le plus de phares électriques. L'Angleterre en a quatre seulement.

CHAPITRE III

ÉMAIL

L'émail est un verre incolore tenant en suspension dans sa masse un corps opaque non dissous.

L'émail peut être coloré par tous les oxydes métalliques colorants.

L'acide stannique, l'acide arsénieux, l'antimoniate d'antimoine, le phosphate de chaux, les chlorures de plomb et de zinc produisent un émail, par leur incorporation dans un verre plombeux ; l'opacité de l'émail augmente avec la quantité de plomb qu'on y introduit, cela à quantité égale.

Les corps précédents, sauf l'acide stannique, ne donnent d'opacité qu'autant que le verre est refroidi ; à l'état de fusion il est complètement transparent. Chauffé à une température élevée et suffisamment prolongée, la dissolution devient complète, et ce verre ne prend plus d'opacité.

Employés en quantités minimes, les corps ci-dessus désignés, sauf l'acide stannique, donnent un verre moins opaque ayant une teinte orientée, rougeâtre par transparence, analogue à l'opale naturelle, et qu'on désigne sous le nom d'*opale*.

Le fluor employé à l'état de spath-fluor (fluorure de calcium) ou de cryolithe (fluorure double de sodium et d'aluminium), dans un verre sodique ou potassique, donne un émail ou une opale.

L'addition de feldspath augmente cette propriété opalisante.

Cet émail, désigné sous le nom d'albatrine ou d'opale, est employé depuis quelques années pour les objets d'éclairage et a remplacé avec avantage l'opale obtenue avec le phosphate de chaux ; il est d'un prix beaucoup moins élevé et ne se laisse pas traverser par les rayons lumineux directs (1).

(1) L'opacité donnée par les fluorures alcalins n'étant pas durable dans le cas particulier des verres très fusibles (émail, glaçure) on a proposé les procédés ci-après :

1° Ajouter aux fluorures alcalins des composés d'étain ou de cuivre.

2° Employer des fluorures, silico-fluorures, borofluorures d'étain ou de cérium.

3° Employer des borofluorures alcalins, de magnésium ou d'aluminium.

Le fluor, introduit dans un verre à base de zinc, donne un verre peu malléable, ayant l'apparence de la porcelaine; on l'emploie en pièces moulées à la presse.

Les sulfates alcalins, et en particulier le sulfate de potasse, introduits dans un verre potassique, donnent une opale non orientée, appelée *pâte de riz*, remarquable par sa finesse de ton et l'éclat des couleurs que donnent les oxydes colorants qu'on y incorpore.

L'alumine et le zinc, incorporés dans les verres et les émaux, donnent des propriétés de coloration et d'opalisation toutes spéciales.

On emploie les émaux aux usages suivants :

1° La mosaïque, où les émaux coulés en plaques ou en pains sont concassés en morceaux plus ou moins réguliers et juxtaposés sur un carton qui porte les dessins à reproduire; ces morceaux sont ensuite réunis par un ciment qui les lie ensemble. Cet art, qu'on cherche à introduire en France, est encore pratiqué en Italie; il exige une variété de teintes infinies ;

2° Le travail à la lampe d'émailleur, en tubes, pour la fabrication des perles fausses qui sont, une fois terminées, remplies d'écailles d'ablettes macérées dans l'ammoniaque, qui leur donne l'aspect de la perle fine, en fils ou baguettes pour la fabrication des épingles, boutons, perles, et tous les objets de verroterie. La fabrication des perles à enfiler, dites de Venise, est plus simple et n'exige pas l'emploi de la lampe d'émailleur; elles sont obtenues en roulant dans des tonneaux chauffés au rouge, des tubes concassés de longueur convenable, perpendiculairement à cette longueur et mêlés avec du sable des lagunes qui leur permet de s'arrondir sans que le trou se bouche ou se déforme ;

3° La décoration du verre, soit en pièces façonnées dont les meilleurs modèles nous viennent des Arabes, soit en verres plats, tels que les glaces de Venise, les vitraux d'appartement dits vitraux suisses. Les spécimens qui nous sont conservés sont extrêmement remarquables par l'éclat, la transparence et la variété des couleurs; on s'attache actuellement à les imiter.

Les anciens (les Égyptiens et les Grecs), non contents d'employer les émaux en pleine pâte, les ont employés en couches minces, comme couverte, sur diverses matières, terres cuites, argile, briques, faïence.

Il existe au musée du Louvre un cercueil de momie, du roi Antew, de la onzième dynastie, qui nous montre l'image de ce roi, avec des yeux de verre émaillé (1).

Nous avons vu, du reste, un petit scarabée de terre cuite émaillée, portant le cartouche de Menchères, roi de la quatrième dynastie, c'est-à-dire datant de quarante siècles. Voici (fig. 367) un flacon jaune-citron sur la panse duquel brillent, incrustés en pâte de verre blanc, les cartouches du huitième roi de la dix-huitième dynastie égyptienne.

Le musée du Louvre possède aussi de curieux cloisonnés égyptiens ;

4° La décoration de la porcelaine (porcelaine cloisonnée chinoise), de la faïence, des grès et de la terre de pipe : cet art a pris depuis quelques années un développement considérable; des procédés de cloisonnage sur le vase lui-même

(1) *Catalogue du musée égyptien du Louvre*, par M. de Rougé, p. 61, 62.

ont permis de poser les divers émaux sous une grande épaisseur et avec une grande netteté à côté les uns des autres, sans en craindre le mélange ;

5° L'application sur les métaux.

Pour ce dernier cas, la composition des émaux varie beaucoup avec le métal sur lequel on les applique ; elle doit satisfaire aux conditions suivantes :

Adhérer au métal, propriété qu'on appelle le *grippage ;*

Être plus fusible que le métal et même que la soudure de ce métal ;

Résister à l'action des acides employés pour le décaper au sortir du four de cuisson, ou à ce qu'on appelle *la mise en couleur.*

Ces qualités, en dehors de celles de « couleur et de glace », doivent être exigées, pour les métaux même les plus fusibles, tels que l'or, l'argent, le cuivre, le bronze ;



FIG. 367.

pour les bijoux à très bas titre dont la fabrication, du reste, n'est pas tolérée en France et pour le laiton (alliage de cuivre et de zinc), il est impossible de les obtenir complètement à cause de leur trop grande fusibilité.

Depuis quelques années, l'application des émaux sur le fer, la tôle ou la fonte a pris un grand développement, dans le but, soit de le protéger contre l'oxydation et de le rendre ainsi propice à l'usage domestique, soit de le décorer.

Les émaux sont de nature différente dans l'un ou l'autre cas, et suivant qu'on les applique sur la tôle ou sur la fonte.

Sur la tôle, quand les objets émaillés doivent servir aux usages culinaires, les émaux doivent être exempts de toute matière toxique ou susceptible de le devenir au contact des aliments.

On pose, sur la pièce décapée dans l'acide sulfurique, une première couche d'un verre fusible, à peu près transparent, à base de silice, soude, borax et kaolin, et, comme deuxième couche, un émail au borax et au spath fluor ou à la cryolithe, opaque par lui-même, et assez fusible pour prendre un glacé à peu près complet ; ces pièces sont cuites au moufle.

Sur fonte, l'émail est une véritable fritte ne donnant d'opacité que par suite de sa fusion incomplète.

Un procédé donnant une bonne qualité d'émaillage consiste à fondre un mélange de :

Sable blanc....................	18 kil.
Borax........................	9

Puis on pulvérise ce verre et on fait une deuxième composition de :

Composition précédente......	15 kil.
Sable blanc..................	3 1/2
Kaolin.......................	2 1/4
Gypse........................	64 gr.

On fond et broie et on en fait une pâte à laquelle on ajoute 128 grammes de borax au moment de l'emploi; on l'étend à la brosse sur la pièce décapée.

On saupoudre, sur cette première couche, un émail que l'on fond, que l'on étonne, broie et sèche; cet émail est formé de :

15 kil.	verre pilé,
18	sable blanc,
7 1/2	soude calcinée,
12	borax,
1/2	magnésie.

La pièce est chauffée au rouge vif dans un moufle.

Pour décorer la tôle, pour les enseignes par exemple, on applique une première couche d'un verre dit *controxyde*, à base de borax et d'alumine, que l'on recouvre d'un émail opaque plombeux à base d'étain ou d'arsenic; ce controxyde attaque le métal et fait corps avec lui.

Pour la fonte et pour le décor seul, on emploie un borate de plomb s'opacifiant facilement et d'une grande fusibilité; il ne bouillonne pas et donne un émail d'un beau glacé très brillant; il est malheureusement facile à rayer et très attaquable aux acides, et en particulier à l'acide sulfhydrique.

Nous avons fait quelques essais de verres opaques en employant la cryolithe et nous avons obtenu d'assez jolis résultats, même en mélangeant simplement la cryolithe au sable.

La cryolithe fond avec une extrême facilité, elle n'est pas décomposée par voie humide par les carbonates alcalins, et même par voie sèche l'action de ces agents alcalins n'est complète que si l'on mélange préalablement le minéral avec une forte proportion de silice. La formule de la cryolithe, d'après l'analyse faite sur un échantillon de ce minéral, serait : $Al^2Fl^3,3NaFl$ (1).

Si l'on mélange 1 partie de cryolithe avec 1, 2, 3 parties de sable, on obtient des produits identiques entre eux comme aspect et comme propriétés; avec 4 et 5 parties de sable, les produits obtenus ont la même teinte et le même aspect laiteux, mais l'apparence est plus *vitreuse;* en un mot, ces deux séries de produits présentent l'aspect du verre, tandis que les séries 1, 2, 3, ont plutôt l'aspect de marbre parfaitement poli. Quant aux autres propriétés, dureté, ténacité, elles augmentent avec la proportion de sable entrant dans les mélanges; quant à la

(1) La cryolithe a été importée en France depuis quelques années: il s'en fait une consommation assez importante dans le midi de la France, pour l'extraction de l'aluminium.

fusibilité de ces mêmes mélanges, cette propriété diminue proportionnellement à la quantité de sable qui les compose.

La recuisson de ces produits est assez délicate, et exige une assez forte température. Lorsqu'on retire du feu un creuset plein de ces matières en fusion, le verre tapissant les parois supérieures du creuset — où il est déposé en couches minces — présente çà et là quelques rares filets diaphanes; il en est de même si on coule ces mélanges en couches très minces : le même phénomène se présente sur les cassures nouvelles de ces couches. Suivant nous, ce phénomène est dû au refroidissement trop rapide de ces surfaces minces, qui n'ont pas le temps de perdre leur diaphanéité en se dévitrifiant (1).

La combinaison de la silice et de la cryolithe peut être représentée par la formule suivante, en donnant aux produits obtenus la formule 3NaO, Al^2O^3,SiO^3 :

$$3NaFl,Al^2Fl^3 + 3SiO^3 = 2SiFl^3 + 3NaO,Al^2O^3,SiO^3.$$

L'aspect blanc laiteux et l'opacité des échantillons dont il vient d'être question sont dus à la quantité d'alumine se trouvant apportée par la cryolithe.

Si, partant d'un autre point de vue, — et c'est surtout ce point de vue qui nous occupe, — on ajoute aux compositions vitrifiables ordinaires de la cryolithe en diverses proportions, on obtient des produits identiques au verre à glaces ordinaire, ne différant aucunement les uns des autres par leurs propriétés physiques et chimiques. On a seulement obtenu par l'emploi de la cryolithe, ajoutée aux mélanges, une *fusion plus rapide des mélanges vitrifiables.*

Nous avons employé des compositions vitrifiables ordinaires; nous y avons ajouté 1, 2, 3, 4, 5 pour 100 de leur poids de cryolithe et, avec ces mélanges, placés à côté de mélanges ordinaires (et servant de témoins), nous avons obtenu une économie de près d'un tiers, pour la durée de fonte de ces mélanges ainsi modifiés.

L'*affinage* de ces compositions est beaucoup plus facile qu'avec les compositions ordinaires, et cela s'explique parfaitement. Le fluorure que nous introduisons dans nos mélanges se décompose pendant la fusion de la masse, l'élément volatil de ce composé s'unit en partie à la silice et se dégage à l'état de fluorure de silicium ($SiFl^3$). Ce dégagement gazeux, au milieu de la masse en fusion, aide le dégagement des bulles d'acide carbonique, qui restent emprisonnées dans le verre, et que l'affinage a pour but de faire disparaître. L'absence de ces bulles gazeuses est un point capital, puisque de là dépend la qualité du verre.

Pour employer industriellement la cryolithe comme fondant dans les compositions vitrifiables, il est nécessaire d'apporter quelques modifications à la composition de ces mélanges.

En effet, par l'élimination d'une certaine quantite de silice (sable) à l'état de fluorure de silicium, il se trouve dans les mélanges un excès de sulfate de soude par rapport aux autres matières, et au moment de l'affinage, ce sulfate surnage à la partie supérieure des creusets et en ronge les parois. Il sera donc indis-

(1) M. Ellis a fait les mêmes observations (*Dingler's polytechnisches Journal*, 1868).

pensable d'augmenter la quantité de sable entrant dans les mélanges. Quant à fixer cette augmentation, nous ne le pouvons, chaque fabricant ayant des compositions particulières. Nous donnerons seulement ici l'analyse d'un échantillon de verre obtenu avec 2 parties de cryolithe pour 100 de mélange vitrifiable. On pourra, se basant sur ces chiffres, recomposer un mélange, quant aux proportions de sable, de sulfate de soude et de chaux.

La quantité de charbon — ou de réducteur — sera fixée d'après la quantité de sulfate employée.

Voici cette analyse :

SiO^3 =	69,32 d'où	Sable	349
CaO =	15,67	Calcaire	139
NaO =	11,82	Sulfate de soude	116
$Al^2O^3 + Fe^2O^3$ =	2,79	Charbon	7
		Arsenic	2

Ainsi qu'on l'a dit plus haut, pendant la fusion des matières contenant de la cryolithe, une partie de la silice se dégage à l'état de fluorure de silicium. Or ce produit, sans importance jusque dans ces derniers temps, a maintenant une certaine valeur industrielle, grâce aux travaux et aux applications trouvées par M. Tessié du Motay pour ce produit.

Si les produits de décomposition de la cryolithe et du sable se rendent dans un appareil condensateur (ce qui sera facile en opérant la fusion des matières vitrifiables dans des creusets fermés, imitant en cela la fabrication du cristal), le fluorure de silicium, au contact de l'eau, se changera en acide hydrofluosilicique (et en silice qui se précipitera) :

$$3SiFl^3 + 3HO = (SiFl)^2\,(HFl)^3 + SiO^3.$$

Cet acide fluosilicique mis en contact avec un sel de potasse, le chlorure de potassium, par exemple, produira un fluosilicat et de potasse qui, séché, pourrait être employé en place de cryolithe si cette matière continuait à être impure, comme celle qui est expédiée du Groenland. Les procédés de M. Tessié du Motay offriraient un moyen d'en produire artificiellement, d'une pureté parfaite et à des prix peu élevés.

On a proposé diverses théories quant à l'action de la cryolithe, produisant l'opacité; d'après Benrath c'est de la dévitrification ou bien une décomposition incomplète de la cryolithe avec formation de fluorure double de sodium et de silicium ou de fluorure double de sodium et d'aluminium.

Les faits ci-dessous semblent démontrer que l'opacité est due à la formation de fluorure d'aluminium :

1° Toutes les analyses indiquent la présence simultanée du fluor et d'une proportion plus ou moins forte d'alumine;

2° Un verre peut être fortement alumineux (5 à 6 pour 100) et rester transparent, à la condition de ne pas contenir de fluor;

3° De même, un verre contenant du fluor mais non alumineux donnera une masse transparente, même après un refroidissement lent. Mais si ce même verre est refondu avec une quantité de feldspath suffisante pour donner au verre 5 pour 100 d'alumine, on obtiendra du verre opaque.

A la suite de ces essais on a pensé à remplacer la cryolithe par un mélange convenablement dosé d'un fluorure (spath fluor, ou fluorure de calcium) et d'un composé alumineux (feldspath ou argile).

Ces mélanges ont donné de bons résultats; aussi actuellement l'emploi de la cryolithe est-il presque complètement abandonné.

Les compositions les plus employées sont :

Sable	100	100
Soude	16	14
Potasse	12	14
Spath fluor	20	20
Feldspath	36	36
Minium	6	8
Nitre	6	4

Les émaux sont appliqués sur les métaux de différentes manières: en couches uniformes, recouvertes ou non de peintures destinées à garantir, à orner le métal; ou bien ils recouvrent certains points du métal, afin de produire un effet décoratif.

On peut classer les émaux en émaux de taille d'épargne et en émaux cloisonnés.

On obtient les émaux en taille d'épargne en décalquant un dessin sur le cuivre et en évidant, au moyen du burin, tout ce qui n'est pas le contour du dessin. Dans le creux on dépose l'émail que l'on fond ensuite et, suivant le goût de l'artiste, le métal domine plus ou moins dans l'effet total.

Dans les émaux cloisonnés, le contour du dessin est obtenu sur le métal uni, au moyen de fils métalliques plats, que l'on contourne suivant les exigences du sujet que l'on soude au fond métallique. C'est dans l'intervalle des cloisons que l'on fait fondre l'émail; l'émail est posé par petites portions que l'on fond au feu, en les ajoutant successivement jusqu'au niveau de la cloison. On use ensuite à la pierre pour unir les surfaces; ce mode de fabrication des cloisonnés, qui est le plus coûteux, peut être modifié en coulant la pièce à émailler dans un moule, sur les parois duquel sont ménagés des creux, qui servent à obtenir d'un seul jet le relief des cloisons. L'application de ces procedés a reçu depuis quelques années une grande extension.

Un autre genre d'émaux a pour base les émaux de basse taille (basse taille émaillée, émaux translucides). On les obtient de la manière suivante : la plaque d'or ou d'argent étant solidement fixée, on y transporte le calque d'un dessin, et l'on grave ou plutôt on cisèle la composition en relief avec toute la finesse du modelé, puis on étend sur cette sculpture d'un très faible relief, par grandes teintes plates, des émaux translucides nuancés de vert et de rouge pour les vêtements, de bleu pour le ciel, de violacé pour les carnations; le tout étant fondu au feu, les différentes épaisseurs d'émail font ressortir le sujet en produisant un effet analogue à celui de la lithophanie.

C'est vers le milieu du quinzième siècle qu'on chercha à faire, à Limoges, des émaux à bon marché pouvant remplacer les émaux en taille d'épargne et les émaux basse taille. La première fabrication tentée dans ce but fut la suivante : le dessin et les ombres étaient tracés sur une plaque de cuivre brillante avec un émail brun, puis on étendait sur cette espèce de camaïeu des émaux colorés translucides en ajoutant de l'or pour mieux accuser les lumières. On avait ainsi un émail grossier qui, comme le dit M. de la Borde, joue l'émail de basse taille, comme les images de campagne jouent le tableau qu'elles représentent; puis, plus tard, vers 1520, on fit à Limoges des émaux appelés émaux peints, dans lesquels le dessin et le modelé sont obtenus exclusivement par la main de l'artiste. Pour obtenir ces émaux, on prend une plaque de cuivre légèrement bombée qu'on recouvre au feu d'une couche d'émail noir tirant généralement sur le violet, ou d'émail bleu lapis; sur ce fond noir, on étend une couche d'émail blanc; puis avec une pointe on trace le dessin, en enlevant l'émail blanc là où le fond doit rester noir, en lui donnant une épaisseur plus grande pour les blancs, et une épaisseur moindre pour les parties qui, laissant voir le fond noir, paraîtront plus ou moins grises. Le modelé est produit par les épaisseurs variables de l'émail. Ensuite le tout est cuit au feu de moufle.

Les émaux peuvent être également employés à la décoration du verre. L'application de certains émaux fusibles sur verre ne présente pas une grande difficulté, mais l'effet obtenu est médiocre et les pièces recouvertes d'émaux fusibles manquent de solidité. Il n'en est plus de même lorsqu'on opère avec des émaux plus durs. Les produits obtenus sont bien supérieurs, mais leur fabrication présente plus d'obstacles. C'est une fabrication de ce genre que M. Brocard a créée depuis plusieurs années, dans le but de reproduire certains verres orientaux qu'il a vus au musée de Cluny. M. Brocard a composé un verre d'une nature et d'une coloration spéciales, sur lequel il dépose sa dorure et ses émaux. Le tout est ensuite soumis à la cuisson, et l'on comprend la difficulté et les dangers que présente cette opération. Les émaux, en effet, doivent avoir une fusibilité très voisine du verre, sans quoi ils ne s'y fixeraient pas suffisamment, mais aussi on s'expose, en les cuisant, à la déformation des objets. Il y a donc une limite à saisir pour arriver à un bon résultat.

Toutes les pièces sont soufflées et ne présentent pas la régularité des pièces moulées; tous les dessins doivent être faits à la main, selon la surface du verre. Nous avons déjà admiré à diverses Expositions la perfection des coupes, vases, lampes de mosquées, de la fabrication tout artistique dont M. Brocard est le rénovateur.

E. Gallé, de Nancy, a aussi la spécialité de produits de ce genre, pour lesquels la recherche de la forme, celle du coloris, l'invention des sujets tiennent une place prépondérante et qui font de ces produits des œuvres d'art plutôt que des produits industriels. Depuis 1878, Gallé à accentué ces caractères : il poursuit deux buts :

1° Celui de remettre en faveur, auprès d'un public spécial, et, il faut le dire, très restreint, un art qui a brillé de quelque éclat aux seizième et dix-septième siècles, celui de la gravure sur verre, en lui faisant rendre tout ce qu'elle peut donner, et en l'associant, sur la même pièce, et malgré de grands périls et

des pertes fréquentes, aux émaux. Ceux-ci avaient, dans les dernières années, complètement éclipsé, dans la faveur publique, l'art charmant de la gravure. « Je puis, dit Gallé, avouer que j'en étais un peu coupable, ma palette d'émaux étant la plus complète, sans contredit, parmi celles, très riches, de nos émailleurs sur verre et sur cristal. » On peut voir au musée des Arts



Fig. 368. — Vase en cristal marbré. Gravure camée : « Orphée perdant Eurydice ». Fabrication de E. Gallé, à Nancy. (Exposition de 1889, collection de M. L. Cléry.)



Fig. 369. —Verre de cristal taillé, à deux couches. E. Gallé, fabricant de cristaux, à Nancy.

décoratifs, etc., des gravures, des entaillis à figurines ornées d'émaux, sur des verreries à la façon des gemmes antiques, sortant des ateliers de Gallé.

2° Gallé est passé, comme à peu près tous les artistes industriels d'autrefois et ceux de notre temps, par les écoles de l'art oriental, et surtout celle si séduisante du japonisme. Mais il n'a pas voulu s'y attarder. Gallé s'est proposé, ainsi que l'ont fait ses devanciers, orfèvres, céramistes, verriers, des choses qui vivent d'une vie propre et possèdent un style original.



FIG. 370. — Cristallerie d'Émile Gallé, à Nancy

A l'Exposition de 1889, nous avons distingué parmi les pièces, toutes remarquables, présentées par Gallé, des colorations nouvelles dont deux entre autres sont dues à l'iridium et au thallium, d'autres jaunes, des bruns et des verdâtres irisés dus à l'argent et au soufre, un bleu paon dû au cuivre et au fer, des bruns au soufre, etc.....

D'autres colorations jaspées, des compositions nombreuses, les unes opaques, les autres transparentes, des malaxages, des applications à chaud, des superpositions de couches diversement colorées, des décors pris entre deux verres, des arborisations dont la disposition est réglée à l'avance par l'artiste, ont également fait l'admiration des connaisseurs.

Nous donnons plus haut (fig. 368, 369) le dessin de deux pièces, l'une en cristal marbré, l'autre en cristal à deux couches superposées, précieusement ciselées au touret.

Les pièces remarquables que nous a présentées Gallé a l'Exposition de 1889, et les compositions diverses qu'il a créées depuis, sont une preuve que cet artiste éminent n'a pas failli à sa devise.

Il a rendu un service signalé à l'art industriel, en faisant entrer en jeu l'imagination, l'intellectualité et le sentiment pour utiliser au point de vue décoratif les résultats des recherches techniques.

Dans cette tâche, Gallé s'est affirmé chef d'école et maître de la verrerie décorative et artistique de l'époque actuelle (1).

LA VERRERIE FRANÇAISE AUX SALONS DES BEAUX-ARTS.

Depuis la première édition de cet ouvrage, nous avons suivi les efforts faits par plusieurs artistes verriers français, et nous avons admiré notamment aux Salons des Beaux-Arts, chaque année, les objets exposés par ces maîtres qui réunissent l'amour du beau à celui de notre métier.

Leurs efforts valurent, auprès du public éclairé, un regain de faveur à l'admirable matière qu'est le cristal. Ce succès coïncide d'une part avec la chute du décor japonais moderne dans la voie purement mercantile, et de l'autre avec le mouvement d'opinion qui vient de remettre en honneur l'art du décor, relégué chez nous depuis le dix-septième siècle, par les Académies des Beaux-Arts, au rang de pratique inférieure.

Désormais, un beau vase ne sera plus jugé de moindre intérêt qu'un tableau mauvais; une œuvre de statuaire excellente ne sera plus disqualifiée par ce seul fait que l'artiste aura fait de son œuvre le support, par exemple, d'un lampadaire ou d'une vasque.

(1) Singulière en son genre est elle-même la cristallerie dont Émile Gallé est propriétaire, et non seulement comme laboratoire verrier, outillé tout spécialement pour une production artistique, mais aussi par la cohabitation de trois industries : le verre, la terre et le bois, qui s'y exercent sous la même direction. En Angleterre, M. William Morris, en collaboration avec des artistes éminents, Burne-Jones, Rossetti, Walter Crane, fait des vitraux, dessine et imprime des papiers de tenture, tisse des tapisseries. De même, dans la cristallerie Gallé, près de la halle où se souffle le verre, les mobiliers qui serviront de cadres aux cristaux sont ébénistés, marquetés; leurs montures de bronze y sont ciselées et patinées, en accord avec les nuances rares des verres; à côté des ateliers de gravure et de peinture sur verre, des poteries sont tournées, modelées, émaillées et cuites. Les bâtiments d'usine sont construits avec élégance, entourés de parterres qui fournissent aux ateliers de construction leurs modèles. De parti pris, aux styles classiques ont été substituées les inspirations dues à l'étude directe et patiente de la nature. La recherche des colorations des verres, émaux et bois, les formes des objets, des ornements et des sujets sont, à la cristallerie de Gallé, motivées toujours par la comparaison persistante avec le modèle de nature. Il en résulte une ornementation d'un caractère indépendant et primesautier.

Depuis le centenaire des Beaux-Arts, en 1889, où fut proclamé et mis en application le principe que *l'art est un* dans ses manifestations diverses, cette vérité reçut des sanctions nouvelles par l'admission, aux Salons annuels de sculpture et de peinture, d'ouvrages dits « objets d'art », œuvres manufacturées dont les modèles ont été conçus, dessinés personnellement et exécutés par des maîtres potiers, émailleurs, orfèvres, verriers. La verrerie d'art française actuelle a certainement contribué pour sa part à forcer une porte depuis si longtemps close. Les Salons du Champ-de-Mars et des Champs-Élysées continuent à présenter, chaque année, un choix, fait par le Jury, de pièces de verre, d'émail, de cristal, qui dateront dans l'histoire de notre métier par des qualités précieuses et neuves données à la matière, surtout par la mise en valeur intellectuelle, personnelle.

Ces morceaux ont paru s'élever au rang d'œuvres d'art, et ont provoqué les discussions de la critique au même titre qu'une statue, un tableau, un livre. Il semble donc instructif de mentionner ici quelques-uns de ces ouvrages exceptionnels, types supérieurs de notre métier moderne. Ce sont des points d'arrivée et, pour d'autres voies, des points de départ aussi. Telles pages des catalogues officiels des Expositions de la Société nationale des Beaux-Arts et des Artistes français, à Paris, deviennent documentaires pour la verrerie comme on va le voir.

Et ainsi, après les chapitres si connus de l'histoire du verre, où l'on a vu Alexandrie pousser le tour de main jusqu'à des secrets que l'habileté moderne n'a pas tous retrouvés, Venise épanouir ses corolles frêles, ourdir ses guipures, monter ses confiseries légères, nous avons sous les yeux des pages fraîches et vivantes où le verrier moderne rafraîchit à l'improviste et poétise la matière antique par la suavité ou le piquant des coloris, surtout par l'intellectualité du décor. Aux Salons nous rencontrons l'émail et le verre; et d'abord, dans l'émail sur métal, des praticiens impeccables : les Thesmar, les Garnier et Grandhomme, les Barrière. le regretté Soyer.

Nous y saluons le retour à la saine compréhension du vitrail dans les mains de bons artistes du décor, Grasset, Lerolle, Besnard, Galland, secondés par des verriers chercheurs : les Appert, Tiffany, Carot, Gsell; dans la glyptique du verre, les adaptations d'Extrême-Orient à la matière vitreuse, par les Reyen, les Léveillé; les ciselures naturalistes et pensives de Gallé; ses

Cette méthode de travail semble *à priori* ne convenir qu'à des écoles ou à des manufactures d'État; elle est très propre cependant pour un établissement spécial à l'article de fantaisie et de nouveauté; elle paraît avoir donné, après une période d'application soutenue, des résultats excellents, tels que la substitution de formes neuves au matériel suranné de formules devenues banales dans le mobilier de la gobeletterie d'étagère et de table, et aussi l'application de décors d'une ornementation libre, renouvelant les modes du décor cristallier, l'ancien filetage, fleurage en or et couleur et les dessins conventionnels, autrefois laissés par les usines à l'initiative des ouvriers décorateurs. De même aussi, l'étude de la nature et un sentiment plus ingénieux ont rajeuni les procédés de la taille sur cristal, les peu suggestives côtes plates ou creuses, à biseaux, en étoiles, pontils, diamants. Ces mêmes procédés ont été, à la taillerie de Gallé, appliqués sur le cristal au rendu décoratif d'une plastique plus souple et plus vraie (voir fig. 370).

pâtes troublantes, ses élaborations compliquées et passionnées, innovations qui, reprises par d'autres, après lui, aident au rajeunissement de la matière et favorisent l'évolution industrielle; enfin dans la fabrication même, les Salons du Champ-de-Mars nous offrent les mystérieux retours à l'antique de M. Cros, la riche palette de MM. Appert, les recherches inquiètes de M. Tiffany fils.

1° *L'Émail aux Salons du Champ-de-Mars.* — Les émaux sur métal, entre les mains de MM. Garnier et Grandhomme, sont remarquables par la puissance des tons, la richesse des dessous métalliques, les repoussés d'or, les taillés dans l'or fin par un maître du métal, le ciseleur Brateau; l'application à des vases y est intéressante; les sujets sont empruntés avec un louable discernement aux mystérieuses toiles de Gustave Moreau : *Pasiphaë*, *Hercule*, *Hélène*, *Ariane*. « La perfection de leur technique, a dit M. Roger Marx, a été constatée à satiété, et aussi leur penchant à peindre sur des fonds couverts de paillons dont l'or et l'argent rutilent à travers la diaphanéité de l'émail et donnent au ton un éclat incomparable. N'ont-ils pas, sur le métal repoussé au préalable, émaillé une minuscule tête féminine et ouvert ainsi à l'orfèvrerie une voie inexplorée? N'est-il pas beau à eux d'avoir tenté de rendre à l'émail son rôle iconique des grandes époques en abordant franchement le portrait moderne? (1). »

Il faut citer aussi, au Salon de 1895, un émail cloisonné d'Ernest Carrière, *les Pies*, comme une œuvre brillante.

Les émaux de M. Thesmar, c'est la technique orientale de l'émail translucide suspendu par miracle en sa fusion dans les mailles d'un réseau de filigrane d'or, et ainsi formant des bols, des tasses mignonnes. Ce sont de petits chefs-d'œuvre d'impeccable exécution. Inoubliables sont (1892) un bol de gui et de houx sur une branche morte, et les tasses : *le Trèfle; la Goutte de Sang*. (Voir planche hors texte, *Revue des Arts décoratifs*, 1892.) Depuis lors, M. Thesmar s'est appliqué à faire reposer ses gouttelettes sur un *excipient opaque;* il est parvenu à une réalisation pratique absolue, malgré l'écueil des dilatations inégales; et cela est regrettable, ce support fût-il même la plus jolie porcelaine de Sèvres! Ce succès technique semble prouver une fois de plus que le mieux est l'ennemi du bien. Sèvres s'est enrichi de ce dont l'émail s'est privé : la diaphanéité isolée, dans l'air, sans support apparent.

2° *La Glyptique sur verre à la Société nationale des Beaux-Arts* (1892-1895). — J. Jacques, travaux à la molette d'après divers maîtres (1891); sept pièces en 1893 : *Oiseau royal*, *Battue*, *Contravention*, *Amour chasseur*, *Neptune*, etc.; de Haeck, une carafe à vin taillée par lui sur ses dessins (1893); Léveillé, gravures et tailles sur cristaux de couleurs (1892); du même (1893), deux vases gravés à feuillages sur fond de pâte imitant le jade, un bol à guirlande de trèfle avec colorations, un vase rouge avec tailles rinceaux; en 1894,

(1) Portrait du prince de Galles.

neuf pièces de gravures sur strass aux riches coloris, et craquelures, dans les procédés et la tradition excellemment inaugurés par son prédécesseur, le regretté maître Rousseau : *Poisson et Corail*, *Flots japonais*, *Feuillage*, *Corbeaux*, *Sujet antique*, toutes pièces brillantes et décoratives. Du même artiste, en 1895, des gravures en camée faisant ingénieusement valoir les pâtes sur pâtes qu'il fait fabriquer sur ses indications, et dont les teintes XVIII[e] siècle sont fort aimables et les gravures parfaitement jolies de M. Michel. L'habile graveur Reyen faisait admettre à son tour à la Société nationale, en 1893, trois pièces de délicates gravures qu'il appelle « *ombrées en relief sur verre doublé d'émail* », *Hirondelle et Dahlia*, *Algues et Poisson*, etc. En 1894, trois gravures sur des triplés émaillés : *Cerises et Lierre sur jade*, *Herbes des champs sur bleu*, *Vigne sur agate ;* cette année, *Vignes et Herbes*, *Poisson et Crabe*, donnaient encore d'élégantes élaborations de verres fabriqués à couches de nuances différentes nettement tranchées. A ces mêmes Salons annuels du Champ de Mars, Gallé a exposé des pièces où la glyptique jouait un rôle important ; nous en parlerons ci-après.

3° *Les maîtres de verrerie aux Salons de peinture.* — En 1895, les peintres et sculpteurs exposant aux Champs-Élysées ont fait, à leur tour, comme à contre-cœur, place aux ouvrages des artistes du décor, et parmi ceux-ci, les bas-reliefs de Henri Cros, notamment sa *Fontaine*, l'histoire de l'Eau, d'une infinie douceur, ont la noblesse de la fresque et les tons pâlis des verres antiques. « L'incantation » est, dans ce retour à l'antique, une des œuvres les plus troublantes et charmeresses de cet artiste éminent. La Société des Beaux-Arts nous offrait les travaux de deux verriers, Louis Tiffany, de New-York, et Gallé, de Nancy. La nouvelle production de M. Tiffany, fils d'orfèvre passé maître verrier, se présentait (1895) sous forme de vitraux dont il sera question plus loin, et d'une vingtaine de vases et bols sans composition décorative ni figuration proprement dite, mais ornés de leurs seuls coloris et de marbrures dont les tours de main, sans constituer des innovations dans le métier, sont originales et agréables. Cette fabrication de fantaisie tient à la fois de l'art antique et du vénitien par la légèreté de la matière et la gracilité des formes, de la formule japonaise par les galbes, les taches décoratives, les passages imprévus d'une nuance à l'autre, du gris au mauve et au rose, avec des diaprures, des iris, ou des applications de feuilles métalliques brûlées, dont l'aspect barbare est d'un raffinement très piquant.

Voici, d'après le catalogue de la Société nationale des Beaux-Arts, la série des verres les plus marquants de Gallé, admis à ces Salons de peinture : Cinq vases (1891) : *A petits pas d'oyselet*, bol camée en pâte métallique et verres, illustrant des rimes du verrier sur un thème de Théophile Gautier. *Eaux dormantes*, pot couvert en pâte d'émail avec premiers plans ciselés sur un décor mêlé à la matière (thème de Hugo) :

La frissonnante libellule
Mire le globe de ses yeux
Dans l'étang splendide où pullule
Tout un monde mystérieux.

Urne funéraire d'Ariel, cristal nébuleux contenant dans sa masse des vols de chauves-souris ; décor ciselé, illustration d'un sonnet du verrier ; couvercle figurant les constellations *la Lyre*, *les Fourneaux* et *le Burin*. — *Beauté des choses qui meurent*, pâte jade gris à madrures multicolores, sujet reliefé en pâte rose sur un texte du poète Emile Hinzelin, monture en or et argent par le maître orfèvre Falize (Salon des Champs-Élysées, 1896).

Le Catalogue de 1892 signale, du même verrier, quinze pièces en pâtes vitreuses, dont quatre furent acquises par l'État et figurent au Musée du Luxembourg, à Paris : *La Soldanelle des Alpes*, fleurs ciselées améthyste enveloppées d'une gangue bulleuse figurant du névé. *Comme dans les étangs assoupis sous les bois*, *Liseron d'octobre*, *les Veilleuses*, sont remarquables par la délicatesse des coloris, les atténuations des tons par la gravure. *Flore fossile*, brun ciselé sur gris à goutelettes d'argent; *Thème de Baudelaire*, flacon en pâtes polychrômes ciselées, sont au Musée des Arts décoratifs. *Vase de tristesse*, cornet en bleu troublé, avec des ancolies en vieux violet. *Les grands bois et les champs sont de vastes asiles*, urne en cristal purpurin ombré de vert, où un intérieur de forêt, sa flore et sa faune avec toutes les dégradations de teintes et effets de lumière sont obtenus par des fondus de gravure au touret. La nouveauté de ces pièces dans la cristallerie consistait dans la qualité des coloris clairs, délicatement rompus, issus de la scrutation des creusets d'essais, en même temps que de l'observation directe des modèles vivants, et dans une ciselure à peine perceptible au toucher ; les figurations étaient détachées des fonds sans sécheresse, comme des aquarelles d'un faire libre, enveloppées d'air.

L'envoi de Gallé en 1893 se signalait par la complication des tours de main, nouveaux dans le métier et qui n'ont pas été repris depuis : ce sont la *Coupe ciselée au touret, offerte à M. Pasteur par l'École normale supérieure à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire*. Le verrier avait pris comme motif de son décor ces vers de V. Hugo :

« . . . . . *On verra les hydres formidables*
Monter, sortir du fond des brumes insondables
Et se transfigurer. »

C'est à l'aide de préparations colorées très ténues semées à chaud par lui au moment de la fabrication de cette coupe que Gallé a réussi à montrer, comme baignant dans de fantastiques bouillons de culture, les microbes pathologiques, à côté d'autres figurations d'un symbolisme touchant. Aux mêmes procédés se rattachaient : *Urne en forme de graine d'ombellifère*, où l'on percevait une florule menue, diluée, émergeant du dedans aux parois. Même processus pour *le Coudrier*, buire en cristal agatisé, zébré obliquement de bullages métalliques et de chatons de noisetier en verres de couleur engagés dans les flancs du vase. *Endormeuse Saison* donnait des chrysanthèmes vus au travers du brouillard; *Chandelles romaines*, un ciel d'Italie en pâte mate avec des verres de couleur incrustés durant le travail à chaud et simulant des fusées d'artifice.

Le Salon du Champ de Mars en 1894 a reçu du même verrier les vases acquis par la Ville de Paris (musée Galliera) : *Neque luctus, neque dolor erit ultrâ*, camée blanc sur noir, et : *Mulier,quid ploras?* pièce en forme de larme, à pied de verre mosaïqué. *Moonwort* était un vase camée imitant une opale à reflets changeants, d'où la ciselure avait tiré les siliques de la lunaire. *Ego sum vitis vera* motivait un Saint-Graal en verre demi-opaque ivoirin ; du cuivre maintenu au maximum d'oxydation y simulait d'une façon saisissante l'effusion du sang eucharistique. En 1894, à Bruxelles et au Salon des Arts décoratifs de Nancy, enfin au Champ de Mars en 1895, la Cristallerie de Gallé a donné des cristaux de teintes très riches, amaranthe, nacarat, mandarine, corail. Mais encore ces matières n'apparaissaient qu'au travers de nuagés, dont l'élaboration décorative, loin d'être découpée sèchement par l'acide fluorhydrique dans une couverte, se reliaient intimement à la masse durant sa mise en œuvre à l'état pâteux. Les sujets plongeaient dans les fortes épaisseurs pour se prendre aux parois internes et venir ensuite s'épanouir à l'extrême surface. Au Champ de Mars, cette année, une de ces pièces semblait absolument pétrie de ramuscules, de dendrites, de coquilles, de feuillages dans de l'eau.

Les deux nouvelles pièces acquises à Gallé au Salon de 1895 par l'État, pour le musée du Luxembourg, emploient les tonalités puissantes d'une palette faite de ses cristaux en fusion, couleurs de topaze brûlée, d'ambre, de résine, mêlées de métaux et d'oxydes, d'où il a tiré des effets de nuit (*Coupe des Troyens, Berlioz*) ou des impressions de crépuscule (Vase sur ce thème de Hugo) :

« . . . . . *Et l'arbre de la route*
Secoue au vent du soir la poussière du jour. »

Le Salon des Champs-Élysées de 1896 possédait une vitrine de cristaux de Gallé, montés en orfèvrerie avec un art exquis par le maître-orfèvre Falize.

4° *Le Vitrail aux Salons des Beaux-Arts* (Champ de Mars). — Novateurs dans cette branche superbe de l'art verrier se sont affirmés, par des envois remarquables, les artistes suivants :

Henri Carot : *Au Buffet* et *Toilette*, cartons de MM. Besnard et Lerolle (1891) ; *Chrysanthèmes* (1892) ; *Oriental* et *Motifs de bordures* (1893) ; *Le Mail*, pour l'Hôtel de Ville de Paris ; *Jeanne d'Arc* (1894) ; *Le Jardin public*, carton de Lerolle, pour l'Hôtel de Ville de Paris ; *Les Paons*, carton de Besnard, pour le Musée des Arts décoratifs (1895). Excellents emplois décoratifs et réelle originalité.

En 1892, M. Galland expose une Verrière destinée à l'église de Chaillot, où l'on retrouve les qualités magistrales du grand artiste son père. De même, en 1895, en collaboration avec M. Gibelin, des *Verrières* destinées à la cathédrale d'Orléans.

Gsell père et fils (1893), *Vitrail pour salle à manger*. Pizzagali nous apporte la même année *Pégase*, fantaisie en verre américain, et *Paon*, mosaïque en verre découpé, première apparition de procédés fort intéressants et décoratifs. De même source, *Journée d'amitié*, par Wyman-Whitman (1894). Cette année, M. Appert, l'éminent verrier de Paris, nous donne, en collaboration avec le peintre Besnard, une curieuse application du verre à une cheminée en céramique ; Lafarge, de New-York, un vitrail : *Pivoines ;*

le féérique carton de Grasset, *la Chasse au Sanglier*, superbe exécution du verrier Gaudin ; Pizzagalli, une mosaïque de verre : *Ma Femme et mes enfants;* enfin Tournel, de Paris, *Sainte Catherine*, mosaïque vitrifiée ; Tiffany, de New-York, treize petits vitraux qui ont attiré à juste titre l'attention par les façonnages singuliers, les marbrures des matières, leur aspect de mosaïques précieuses. Il faut dire que les cartons, exécutés par les maîtres imagiers et peintres à la mode, Albert Besnard, H. de Toulouse-Lautrec, Roussel, Hels, etc..., avaient une grande saveur d'originalité, convenant admirablement au parti pris de ces mosaïques translucides. C'est un regain de faveur qui se prépare pour cet élément de décor intime, le vitrail !

APPLICATIONS D'ÉMAUX VÉRITABLES SUR ÉTOFFES (PROCÉDÉ PARVILLÉ)

Ce procédé d'application d'émaux sur étoffes est caractérisé par les opérations suivantes :

1° Préparation des émaux;
2° Préparation du tissu spécial destiné à les recevoir;
3° Application des émaux sur le tissu préparé.

1° *Préparation des émaux.* — On se sert d'un carreau de faïence fine, on le recouvre d'une légère couche de craie. On a reporté à la manière ordinaire le dessin ou exécuté la pose, comme le céramiste, des émaux finement broyés, en ayant soin d'observer entre les différents tons un léger intervalle, afin d'empêcher leur réunion sous l'action du feu. Après la cuisson, qui peut avoir lieu à moufles ouverts, comme pour l'émail, sur le cuivre, les émaux se détachent d'eux-mêmes de leur support. Un lavage à l'eau acidulée enlève la chaux adhérente, puis on termine par un lavage à grande eau et un séchage.

2° *Préparation du tissu spécial.* — La satinette ou toute autre étoffe de couleur appropriée au tissu à décorer peut convenir à la préparation spéciale. Cette satinette est enduite jusqu'à complète imperméabilité de plusieurs couches successives d'une solution obtenue en faisant dissoudre jusqu'à dissolution complète du caoutchouc-para dans la benzine, de manière à avoir une liqueur sirupeuse; on laisse ensuite sécher l'étoffe ainsi préparée.

3° *Application des émaux.* — Les émaux sont ensuite collés sur le tissu préparé; ce collage s'effectue avec la même dissolution que ci-dessus, mais beaucoup plus concentrée, presque à l'état pâteux. On a soin de laisser entre les émaux constituant les éléments d'un même motif un espace d'environ un millimètre. On découpe alors sur leur pourtour extérieur, à la main ou à l'emporte-pièce, les différents motifs, en conservant ce même intervalle entre chaque élément à décorer, comme pour un soutachage. Les motifs ou fragments de motifs sont alors cousus et sertis d'un fil d'or ou de soie qui complète l'ornementation générale.

CHAPITRE IV

STRASS

En Égypte et en Grèce, l'imitation des pierres précieuses avait déjà atteint une grande perfection. A l'exception de l'opale, on imite maintenant toutes les pierres précieuses et la densité de ces pierres et leur dureté sont à peu près les seuls moyens dont on dispose pour les distinguer des pierres artificielles.

A la fin du siècle dernier, un joaillier du nom de Strass acquit une curieuse renommée pour la fabrication de ces verres riches en plomb auxquels il donna son nom.

Le strass incolore est un verre qui se rapproche du flint-glass par ses propriétés et sa composition. La bijouterie l'emploie pour imiter les diamants. Les matières dont on se sert pour le préparer, doivent être d'une pureté parfaite. Il faut qu'elles soient mélangées aussi intimement que possible, que la fusion se fasse lentement, qu'elle soit prolongée au moins pendant vingt-cinq ou trente heures, et que la masse vitreuse se refroidisse lentement afin qu'elle éprouve un véritable recuit.

M. Donault, qui s'est particulièrement occupé de la fabrication du strass, a proposé les dosages suivants :

Cristal de roche	300	»	300
Sable	»	300	»
Minium	470	»	462
Céruse	»	514	»
Potasse pure	163	96	168
Borax	22	27	18
Acide arsénieux	1	1	05

Avec le cristal de roche on obtient un strass plus dur que celui obtenu avec le sable; mais ce strass est souvent trop blanc et jette moins de feu que celui qui est légèrement jaune.

Les pierres factices colorées ont le strass pour base; toutes résultent de ce verre limpide, auquel on ajoute de faibles quantités d'oxydes métalliques. Ce strass incolore est un borosilicate de potasse et de plomb, qui contient plus de plomb que le flint-glass, et auquel M. Donault-Wieland a trouvé la composition :

Silice	38,1
Alumine	1,0
Oxyde de plomb	53,0
Potasse	7,9
Borax	traces.
Acide arsénieux	traces.

STRASS COLORÉS

On obtient les strass colorés en faisant fondre le strass incolore avec des oxydes métalliques. Nous donnons ici la composition de quelques pierres précieuses artificielles :

Topaze.....	Strass incolore............	1000	1000
	Verre d'antimoine.........	40	»
	Pourpre de Cassius........	1	»
	Oxyde de fer..............	»	10

Cette pierre présente quelquefois pendant sa fabrication de remarquables changements de teinte: elle peut passer du jaune au rouge rubis, suivant la température et la durée du feu.

On obtient le rubis en fondant pendant trois heures 1 partie de *matière topaze* avec 8 parties de strass incolore; en réchauffant ensuite la masse vitreuse au chalumeau, on lui voit prendre une belle teinte rouge.

Émeraude...	Strass incolore............	1000
	Oxyde de cuivre pur.......	8
	Oxyde de chrome..........	0,2
Saphir.......	Strass incolore............	1000
	Oxyde de cobalt...........	15
Améthyste...	Strass incolore............	1000
	Oxyde de manganèse.......	8
	Oxyde de cobalt...........	0,5
	Pourpre de Cassius........	0,2
Aigue-marine..	Strass incolore............	1000
	Verre d'antimoine.........	7
	Oxyde de cobalt...........	0,4
Grenat syrien..	Strass incolore............	1000
	Verre d'antimoine.........	500
	Pourpre de Cassius........	4
	Oxyde de manganèse.......	4

Si au lieu de l'oxyde de plomb ou en même temps que ce dernier on employait l'oxyde de bismuth, l'oxyde de zinc, le carbonate de baryte ou de strontium avec des silicates et des borates ainsi que des phosphates et des fluorures métalliques, on obtiendrait certainement des variétés diverses susceptible sd'être utilisées avec avantage (1).

(1) Pour la taille et le poli de ces pierres précieuses, on consultera avec intérêt l'*Art des lapidaires*.

LIVRE DOUZIÈME

CHAPITRE PREMIER

FABRICATION ACTUELLE DU VERRE A VENISE

Perles. — C'est aux perles et aux verres colorés que Venise doit ses richesses. L'industrie du verre, à Venise, remonte au dixième siècle, et bien qu'elle ait perdu de son ancienne splendeur, elle conserve encore une certaine importance.

D'après M. Lazari, la première mention des perles remonte à l'an 1318 et les fabricants, désignés sous le nom de patenotriers et de perliers, établis à Venise et à Murano, étaient assez nombreux pour former une compagnie régie par des statuts particuliers. Cette industrie ne devait pas être à ce moment arrivée à son apogée, puisque le même auteur cite, sans en donner l'explication, un important perfectionnement apporté à cette fabrication par Andrea Vidaore (1528).

Malgré l'immense développement atteint en peu de temps par cette branche de l'industrie verrière, celle-ci se trouve actuellement dans des conditions défavorables, et cela à cause des prix qui sont exhorbitants.

On s'explique facilement dès lors comment Venise a dû voir la Bohême lui enlever ses principaux débouchés, sans exclure les Indes.

Il n'est pas rare pour des connaisseurs autrichiens, allemands de voir aux étalages des magasins qui avoisinent le « palais de la Magistrature », des objets en verre montés avec une réelle élégance, et de reconnaître que ces articles, que l'on vend comme produits de Venise, ne sont autres que des articles de provenance étrangère.

La cause de cette décadence, selon nous, c'est que la fabrication du verre, aussi bien à Venise qu'à Murano, suit des systèmes trop anciens, se basant sur des données obtenues dans l'ancien temps sans vouloir tenir aucun compte des importantes découvertes qui ont été faites dans les temps modernes.

C'est ainsi que Venise se trouve écrasée par ces pays qui savent, eux, calculer scrupuleusement et sont munis pour travailler, de systèmes tout à fait différents et plus en rapport avec les exigences de notre époque.

La fabrication des miroirs, si célèbre autrefois, a complètement disparu, et Venise se voit aujourd'hui obligée de prendre à l'étranger pour sa consommation locale.

Seul l'encadrement des miroirs est resté une spécialité vénitienne.

L'Italie s'est vue réduite à tirer pour la majeure partie de l'étranger les verres pour fenêtres, ainsi que les objets de luxe et d'usage commun, lesquels proviennent surtout d'Autriche, où les fabriques de Styrie ne travaillent presque exclusivement que pour elle. La fabrication du verre ci-dessus a pour ainsi dire cessé à Venise et à Murano, et il n'existe actuellement qu'un seul établissement de verre commun fondé par la Société « Verrerie vénitienne », aujourd'hui entre les mains du baron Franchetti, mais dont l'existence nous paraît comptée.

Aussi célèbre était la fabrication de la mosaïque à Venise; mais, même dans cette branche de l'industrie, on se ressent non seulement de la concurrence étrangère, mais plus encore de la concurrence locale, de telle façon que l'illustre Salviati, à qui l'on doit d'avoir fait revivre cette importante industrie, se trouve en ce moment dans une situation plus que précaire depuis que ses élèves d'hier, eux-mêmes établis, viennent troubler la situation, portant ainsi un préjudice à leur maître.

En ce qui touche la fabrication des perles, celles-ci arrivent également toutes produites d'Allemagne. C'est surtout à Steinach, Bischofgrün, Eberndorf, Warmensteinach et aux environs de Gablonz, qu'on en fabrique en quantités.

Tandis que dans les pays ci-dessus les perles sont tirées et fournies directement du four de l'ouvrier (perlier) et dans les dimensions voulues, les manufactures de la Bohême, au contraire, ne produisent que les perles dites taillées (à froid).

Le premier système présente cet inconvénient que, ne pouvant fabriquer que des perles d'une certaine grosseur, l'ouvrier ne peut produire, suivant *la grosseur à donner*, que 150 à 800 perles à l'heure.

Le deuxième système (celui de Bohême) ne compte qu'une seule catégorie : celle des perles taillées, comme il est dit d'autre part; mais, à vrai dire, ces dernières ne sont pas des perles proprement dites.

Venise, au contraire, occupe le premier rang pour la fabrication des perles à cause de la variété de ses produits et aussi parce que non seulement elle peut travailler d'après les deux systèmes sus-exposés, mais bien parce que la fabrication de ce genre de produits répond à toutes les exigences tant au point de vue des coloris que de la qualité et de la quantité, et ce, grâce à ses compositions spéciales et à son mode de travail. Venise est surtout considérée comme étant le centre principal pour la fabrication des perles pour broderies.

Il est étrange qu'il ne se soit trouvé personne encore ni en Autriche, ni en Allemagne pour introduire cette branche d'industrie, laquelle ne manquerait certainement pas de rapporter des bénéfices.

Aucune des fabriques de verres soufflés de Venise et Murano ne possède de fours modernes. Ceux-ci sont tous à feu direct; mieux encore, les fabriques de verroterie n'ont que des fours antédiluviens. Dans ces fours, il n'y a qu'un seul pot pouvant contenir environ 300 kilogrammes de matière. Le chauffage s'opère directement par le charbon.

Nous n'avons qu'une exception à faire. En effet, la Société Alexandre Zecchin,

de Murano a introduit, en 1881, dans les fabriques de perles, deux fours à bassins d'une capacité de 2.500 kilogrammes. — Ces fours ne sont pas autrement recommandables pour la fabrication des perles, parce qu'on n'en peut obtenir qu'une seule et même qualité de verre, causant ainsi une trop grande production d'un même article.

Les fours les plus propices seraient ceux à quatre ou six pots, quoique les Vénitiens ne veuillent en entendre parler, alléguant et soutenant qu'on ne pourrait, dans lesdits fours, faire fondre les différentes pâtes de compositions variées et demandant dès lors un traitement distinct ainsi qu'un degré de chaleur spécial à chacune d'elles.

En admettant que les motifs ainsi allégués soient exacts, il n'en faudrait pas conclure que, par ce fait seul, la fusion de différentes pâtes soit impossible.

Les preuves du contraire nous sont fournies par l'Autriche, l'Allemagne, où il existe des fours mixtes de ce genre et dont on obtient les meilleurs résultats.

Quoique Venise ne possède aucune école spéciale pour ce genre d'industrie, il n'en demeure pas moins intéressant de voir avec quelle bravoure le verrier vénitien s'acquitte de son travail.

A Murano, cependant, il existe une bonne école de dessin et un Musée; ce dernier, richement doté en produits de verre, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours, collection d'un grand intérêt et fort instructive pour les connaisseurs.

Ce qui cause un grand préjudice à la fabrication du verre en Italie, c'est que celle-ci est encore obligée de demander la plupart de ses matières premières à l'étranger.

Avec l'acquisition de nouvelles colonies, l'Autriche et l'Allemagne pourraient se créer de nouveaux débouchés pour l'écoulement des perles; mais, comme nous l'avons dit, ces deux pays devraient alors copier leur fabrication sur celle des Vénitiens.

Murano et Venise ont exporté dans le Congo, en 1875, environ 300.000 kilogrammes de verroterie. Dans ces cinq dernières années le chiffre s'est élevé à 3 millions de kilogrammes.

Les perles les plus courantes sont les azurs, qui sont particulièrement recherchées par les habitants du haut Congo.

Les perles sont faites avec des baguettes ou tubes de verre blanc ou de verre coloré de différentes grosseurs. Ces tubes de verre proviennent de verre étiré à des distances plus ou moins grandes afin d'obtenir des diamètres plus ou moins forts. Pour la fabrication des petites perles on emploie des baguettes dont le verre qui a servi à les former, a été étiré à une longueur de 50 mètres environ. Ces tubes sont ensuite coupés à 60 ou 80 centimètres de long, rangés par ordre de grosseurs ou diamètres, puis coupés encore en petits fragments d'égale longueur à l'aide d'une machine spéciale. Les tubes viennent se présenter sur un ciseau fixe, et un autre ciseau frappe régulièrement sur ces tubes et les coupe au fur et à mesure qu'ils se présentent. On a donc, après cette opération, une série de petits cylindres creux dont les bouts sont de vive arête; ces petits cylindres

creux sont mêlés à un mélange de chaux et de charbon, le tout humecté, réduit en poudre fine; puis on remue, on brasse ces morceaux de verre avec le mélange qui pénètre à l'intérieur et obstrue momentanément le centre des fragments des tubes primitifs. Cette manière de faire a pour but d'éviter que, par le ramollissement auquel ces verres seront soumis, ces petits vides intérieurs ne soient obstrués par le verre lui-même. On place ensuite ces fragments cylindriques dans un cylindre en fonte, en fer ou en cuivre, on ajoute un peu de sable, et on introduit ce vase, auquel on imprime un mouvement de rotation, dans un four chauffé au rouge cerise; sous l'action de la chaleur et de ce mouvement rotatoire, les arêtes s'émoussent et on produit les perles.

La masse refroidie, on tamise le tout, les perles restent et le sable s'échappe au besoin; une agitation dans un sac dégage les vides préalablement bouchés des tubes.

Les perles étant arrondies, on les classe par grosseurs, par leur aspect plus ou moins satisfaisant, puis on procède à leur polissage en les secouant d'abord dans un sac avec du sable, puis ensuite avec du son. Pendant cette dernière opération le brillant qui avait été détruit dans l'arrondissage reparaît.

Les perles sont ensuite enfilées et rassemblées en écheveaux appelés masses, de diverses grandeurs, selon la grosseur des perles.

L'enfilage se fait entièrement à la main. L'*infilzatrice* met ses perles dans une boîte carrée où elle plonge un faisceau de longues aiguilles, qu'elle tient étalées en éventail; quelle que soit leur finesse, ces aiguilles sont percées d'un trou à l'extrémité que l'ouvrière tient dans la main; dans ce trou est passé un fil. Quand les aiguilles sont chargées d'un grand nombre de perles, l'ouvrière relève l'aiguille, fait glisser les perles le long du fil, puis les recharge de nouveau dans sa boîte. On se sert de soie pour les produits les plus soignés, et de lin filé en Angleterre pour les perles plus communes, on attache une grande importance à la qualité de ces fils.

On fabrique aussi une grande quantité de perles soufflées au chalumeau, à la lampe d'émailleur; elles proviennent de la transformation de baguettes creuses ou tubes de verre ordinaire pour les perles communes, ou de teinte légèrement irisée ou opale pour les perles de choix ou orientoïdes. Le souffleur étire d'abord le tube qui est préalablement chauffé et ramolli; le tube étiré à la grosseur voulue, il le brise alors en fragments de 10 centimètres environ; puis il en prend un dont il présente l'une des extrémités à la lampe. Dès que le verre commence à se liquéfier, il souffle doucement dans le tube, qui, quoique étiré, a toujours conservé un vide intérieur, et bientôt, l'air dilatant l'extrémité chauffée, il y apparaît une boule. C'est cette boule qui va devenir une perle, mais elle n'est encore qu'à l'état de germe; pour qu'elle devienne perle, trois opérations sont encore indispensables:

1° Le perçage, qui se compose de deux trous, s'il s'agit de perles rondes destinées à former un collier, ou d'un seul si, rondes ou en forme de poires, elles doivent être montées soit en colliers, soit en boucles d'oreilles, en boutons, en épingles, etc.;

2° La forme à donner, ronde ou en forme de poire;

3° La coloration intérieure.

Le double perçage, indispensable pour passer le fil de soie qui réunit les perles et forme le collier, s'opère au moment où le verre, de forme sphéroïde, adhérent au tube, est encore ductile. Le premier trou se fait au centre inférieur de la perle par le seul souffle de l'ouvrier; et le second se trouve naturellement formé par le creux du tube au moment où la perle en est séparée au moyen d'un petit coup sec.

Tel est le travail que demande la confection de toutes les perles fausses; mais les *perles orientoïdes*, qui, ainsi que leur nom l'indique, doivent être l'imitation la plus exacte possible de celles produites par la nature et connues sous le nom de perles fines, exigent une préparation plus compliquée.

Tout en étant fabriquées exactement de la même manière que les perles les plus ordinaires, les orientoïdes s'en distinguent cependant, non seulement par l'emploi d'un verre opalisé, mais encore par le soin que le souffleur apporte à leur forme, ainsi que par les diverses colorations qu'elles reçoivent à l'intérieur.

Quant à la forme, tout le monde sait combien il est rare de trouver une perle sans défaut; et, par défaut, il ne s'agit pas ici de la matière, mais seulement de la forme et plus encore de la nuance.

Le rôle du souffleur étant, comme nous l'avons dit, d'imiter le plus possible la nature, son talent consiste non seulement à dénaturer, pour ainsi dire, l'exacte régularité obtenue par le soufflage, mais encore à produire sur la perle fausse les défauts qui se trouvent ordinairement sur les perles naturelles. Ce travail demande une très grande habitude, et n'est que le fruit d'une longue observation; le bon souffleur, l'artiste, doit connaître assez les perles naturelles pour n'exécuter sur les siennes que les défauts qui peuvent faire valoir, par le moyen de reflets habilement préparés, l'œuvre sortie de ses mains. Pour obtenir ce résultat important, le souffleur, profitant du moment où la perle adhère encore au tube, prend une très petite palette en fer, dont il frappe très légèrement sur certaines parties de la perle encore malléable, et ce n'est que par ce dernier travail qui met, ici une saillie, là un méplat, presque imperceptibles, qu'il parvient à produire une perle, qui, perdant sa régularité mathématique, devient l'imitation parfaite de la nature.

Là s'arrêtait à Venise le travail du souffleur de perles, la coloration était donnée par le verre lui-même. A Paris, on fabrique maintenant les perles colorées artificiellement de la façon suivante : pour la coloration des perles de choix, travail qui se fait par des femmes, chaque ouvrière a devant soi une série de compartiments contenant des perles de diverses grosseurs, dans laquelle il s'agit d'introduire d'abord un peu de colle incolore destinée à fixer la matière colorante qui sera introduite ensuite. Cette matière est formée d'écailles d'ablettes; on mélange ces écailles à de l'eau salée, à de l'ammoniaque, et on obtient une sorte de pâte fluide appelée essence d'Orient. On estime qu'il faut environ vingt mille ablettes pour produire une livre de cette essence qui est ensuite soumise à des purifications successives et qui finalement donne une liqueur nacrée d'un reflet, d'un éclat magnifiques. L'essence dite d'Orient est donc introduite par insufflation dans chaque perle; les perles de couleur sont obtenues par un même procédé, seulement au lieu de pâte d'ablettes, on insuffle à l'intérieur une pâte de couleur voulue.

On a proposé le procédé suivant pour la fabrication des perles artificielles. On prend de la nitrocellulose que l'on dissout dans l'alcool et l'éther (78 parties d'alcool et 21 parties d'éther pour 1 partie de nitrocellulose) et que l'on verse à la surface d'une table de bois ou de verre. Après évaporation, il reste une pellicule qui a l'aspect de la nacre.

On peut employer comme dissolvant le verre soluble dans la proportion de 10 parties pour 90 parties d'eau. La nitrocellulose peut être pure ou brute et on peut faire varier dans de certaines limites son degré de concentration, ce qui permet d'obtenir des produits variés. L'addition de 25 pour 100 de sulfure de carbone ou de benzine donne lieu également à des différences de brillant et de coloration.

Verres filigranés. — Bontemps a publié dans les *Bulletins de la Société d'encouragement* (t. XLIV), puis dans son excellent ouvrage (1), un exposé complet de cet art intéressant, à la renaissance et aux progrès duquel il a puissamment contribué.

On appelle *verres filigranés* ceux dans lesquels s'enlacent mille filets de verre blanc, opaque ou coloré, en affectant une foule de formes diverses irrégulières.

Les verres filigranés sont composés d'un certain nombre d'éléments fabriqués à part; ainsi un vase quelconque est formé de vintg-cinq, trente..., baguettes juxtaposées, réunies par la chaleur du four de travail et soufflées ensuite comme une masse unique de verre. Je suppose d'abord ces baguettes à filets fabriquées; on les place contre la paroi intérieure d'un moule cylindrique en métal (fig 371 et 372) ou en terre à creusets, on les fixe au fond du moule au moyen d'une petite couche de terre molle dans laquelle on fiche leur extrémité; on fait chauffer ce moule auprès du four de verrerie, non pas jusqu'à ramollir les baguettes, mais pour les

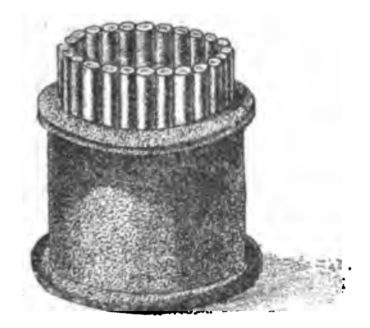


FIG. 371.

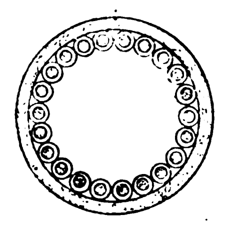


FIG. 372.

rendre seulement susceptibles d'être touchées par du verre chaud sans être calcinées; puis, avec une canne à souffler, on prend dans un creuset du verre ou du cristal transparent en petite quantité, et on souffle ce qu'en terme de verrerie on appelle une petite *paraison*, c'est-à-dire une préparation de pièce; on souffle,

(1) Bontemps, *Guide du verrier, loc. cit.* Librairie du *Dictionnaire des arts et manufactures*, rue Madame, 44.

dis-je, une petite paraison cylindrique d'un diamètre un peu moindre que le vide que laissent entre elles les petites baguettes dans le moule; on chauffe fortement la paraison, on l'introduit dans l'intérieur du moule et on souffle de manière à la presser contre les baguettes : elles ne tardent pas à adhérer à la paraison, de telle sorte que, en élevant la canne et retenant le moule, cette paraison amène avec elle les petites baguettes; on rechauffe le tout de manière à rendre l'adhérence complète, à amollir les baguettes, puis on marbre, c'est-à-dire qu'on roule le tout sur la plaque de fonte polie; on rechauffe encore, on souffle un peu et on *tranche* avec les *fers* (sorte de pinces), un peu au-dessus du fond, de manière à réunir les baguettes en un point central; on obtient ainsi une masse que l'on travaille comme une paraison ordinaire, et à laquelle on donne la forme que l'on veut par les moyens ordinaires employés dans le soufflage du verre. Par les opérations de *marbrer* et de souffler, les baguettes se trouvent aplaties extérieurement et intérieurement, ce qui produit sur les dessins des filigranes les effets que nous remarquerons en parlant en détail des baguettes. Si l'on n'a donné aucun mouvement de torsion à la paraison, les dessins restent longitudinaux comme les baguettes et dans le même plan que l'axe de la pièce; mais, si, après avoir fait adhérer les baguettes, on imprime un mouvement de rotation sur elle-même à la canne en retenant l'extrémité inférieure des baguettes avec les *fers*, on produit une torsion qui donne aux baguettes une direction en spirale qu'elles conservent quand on termine la pièce par les moyens ordinaires. Il est plus difficile de maintenir les baguettes dans leur position primitive, dans le même plan que l'axe de la pièce, car le verre se travaille en quelque sorte sur le tour; il faut donc que l'ouvrier ait la main très légère pour qu'en modelant sa pièce il n'imprime pas près du *pontil*, et surtout à l'évasement de la pièce, un léger mouvement de torsion.

Après avoir montré de quelle manière on fabrique les pièces filigranées quand on a les baguettes qui en forment les éléments, voici les procédés par lesquels on produit ces baguettes. La base de toutes est un filet simple enveloppé de verre transparent : nous supposerons d'abord qu'on n'emploie que des filets blancs opaques, et, pour le dire en passant, les plus jolis ouvrages des Vénitiens ne contenaient guère que des filets de cette couleur. Certes, ils connaissaient bien les colorés, mais ils les employaient rarement dans ces sortes d'ouvrages; ils pensaient avec raison que le mérite de ces pièces résulte de leur légèreté, de la netteté des filets, de la grâce de la forme, et que l'introduction de la couleur n'était le plus souvent qu'un cachet de mauvais goût.

Pour faire les filets simples (1), le verrier prépare du verre blanc rendu opaque par l'étain ou par l'arsenic (l'étain donne des filets plus nets dont le délié est plus correct que ceux de l'opaque blanc par l'arsenic). Le verrier prend au bout de sa canne dans le creuset, environ 200 grammes de verre opaque; il *mabre* ce verre de manière à lui donner une forme cylindrique d'environ 6 à 8 centimètres de longueur et laisse un peu refroidir, puis il plonge ce petit cylindre dans du verre blanc transparent, en fusion, de manière à lui former une enveloppe d'environ 5 millimètres d'épaisseur; il mabre de nouveau pour égaliser le verre transparent autour du verre opaque, puis, chauffant fortement et appliquant ensuite à l'extrémité opposée à la canne un *pontil* garni de verre

chaud, il étire cette colonnette comme un tube jusqu'à ce qu'elle ait été réduite au diamètre voulu, environ 4 à 6 millimètres; enfin il partage cette *tirée* en fragments égaux : il lui en faut, pour sa provision, plusieurs longueurs suivant les pièces qu'il veut fabriquer; elles ont ordinairement de 8 à 15 centimètres.

Outre ces baguettes à filets simples, le verrier doit se munir aussi de baguettes semblables en verre transparent, et il est apte alors à préparer toutes les baguettes compliquées.

1° Pour obtenir des baguettes à filets en spirale rapprochés, qui, par leur aplatissement, produisent des réseaux à mailles égales (2), on garnit l'intérieur d'un moule en métal ou en terre, semblable à celui dont nous avons parlé, de

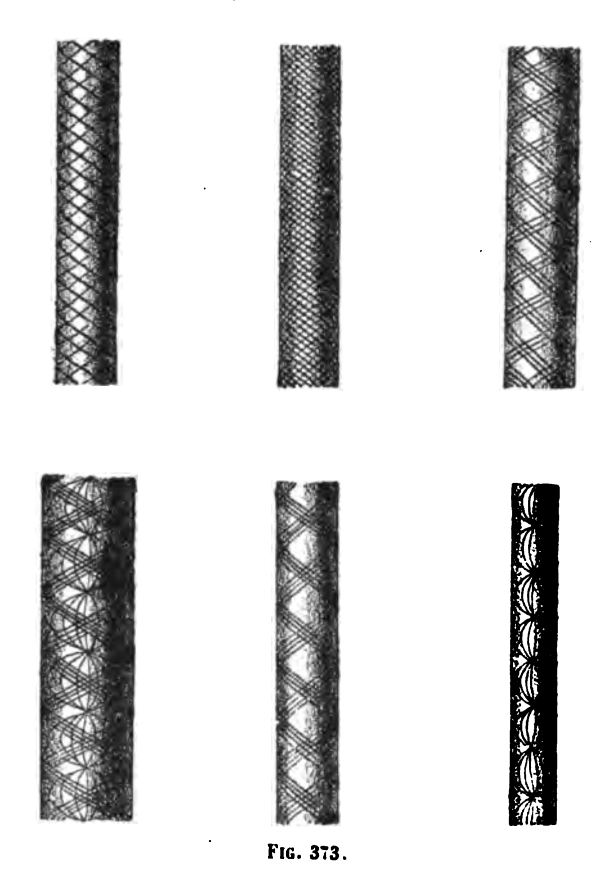


Fig. 373.

baguettes à filets simples alternées avec des baguettes en verre transparent, puis le verrier prend au bout de sa canne du verre transparent dont il forme un cylindre massif qui puisse rentrer dans le moule garni de ces petites baguettes, et chauffé préalablement un peu au-dessous de la chaleur rouge. En chauffant ce cylindre fortement, il l'introduit dans le moule où il le refoule de manière à presser les baguettes qui adhèrent ainsi contre le verre transparent : il enlève la canne en retenant le moule et entraîne ainsi les baguettes avec le cylindre; il

chauffe encore et il mabre pour rendre l'adhérence plus complète ; enfin, chauffant l'extrémité du cylindre, il tranche d'abord cette extrémité avec ses fers, la chauffe de nouveau, la saisit avec une *pincette* ou avec ses fers, et la tire de longueur avec sa main droite, pendant que de la main gauche il fait tourner rapidement la canne sur les *bardelles* de son banc. Pendant que les extrémités de la colonne s'allongent, les filets s'enroulent en spirale autour d'elle : quand l'ouvrier a amené, à l'extrémité, une baguette de la dimension voulue, environ 5 millimètres de diamètre, et que les filets sont suffisamment enroulés, il tranche avec la pincette, chauffe de nouveau l'extrémité de la baguette, et, la saisissant et l'étirant pendant qu'il roule rapidement la canne, il procède ainsi à la production d'une nouvelle baguette, et ainsi de suite jusqu'à ce que toute la colonne soit étirée.

2° Pour fabriquer des baguettes qui, par leur aplatissement, produisent des filets en quadrilles, on place dans le moule, aux deux extrémités d'un seul diamètre, trois ou quatre baguettes à filets simples alternées avec des baguettes en verre transparent ; on garnit ensuite le reste de la capacité intérieure du moule de baguettes transparentes, afin de maintenir les baguettes à filets dans leur position, et on opère comme pour les baguettes précédentes.

3° Pour obtenir des baguettes produisant, par leur aplatissement, des grains de chapelet (4), on fait une *paraison* soufflée, dont on ouvre l'extrémité opposée à la canne de manière à produire un petit cylindre ouvert; on l'aplatit afin de ne donner passage qu'à des baguettes, et on introduit dans ce fourreau quatre, cinq ou six baguettes à filets simples alternées avec ces baguettes de verre transparent; on chauffe, on ferme l'extrémité opposée à la canne, puis l'ouvrier presse sur la paraison plate pendant qu'un aide aspire l'air de la canne de manière à le faire sortir de la paraison et à produire un massif plat, dans lequel sont logés les filets. L'ouvrier rapporte successivement une petite masse de verre chaud transparent sur chacune des parties plates de sa paraison, et il mabre pour cylindrer sa masse : il obtient ainsi une petite colonne dans l'intérieur de laquelle sont rangés, sur un même diamètre, les filets opaques : il procède ensuite comme pour les baguettes précédentes en chauffant et étirant l'extrémité pendant qu'il roule rapidement la canne sur les *bardelles*. Par ce mouvement de torsion, la ligne des filets se présente alternativement de face et de profil, et produit des grains de chapelet.

4° Il arrive souvent qu'on combine ces grains avec les quadrilles des baguettes précédentes, en se servant, pour introduire le moule préparé pour les baguettes à quadrille, du cylindrique préparé pour les grains de chapelet. Du reste, les combinaisons qu'on vient d'indiquer mettent sur la voie d'une foule d'autres que le verrier peut opérer.

5° Quelquefois on ménage, au centre d'une des baguettes, un filet en zigzag ordinairement coloré : pour cela on prépare un premier cylindrique massif en verre transparent, de moitié du diamètre de celui qu'on veut étirer, et on fait adhérer parallèlement à l'arête de ce cylindre une petite baguette colorée ; on recouvre le tout d'une nouvelle couche de verre transparent pour produire le cylindre de la dimension voulue pour entrer dans le moule des baguettes à filets. La petite colonne colorée, n'étant pas au centre du cylindre,

tournera en spirale autour de ce centre par le mouvement d'étirage et de torsion, et produira un zigzag par l'aplatissement.

Parmi les pièces de Venise, et ce sont peut-être les plus remarquables, il en est qui présentent un réseau de filets simples à mailles égales dont chacune renferme une bulle d'air : ce genre est le plus difficile à produire. On y parvient, toutefois, en soufflant une première paraison à filets simples tordus, puis une deuxième paraison à filets simples tordus en sens inverse; on ouvre l'une de ces paraisons et on introduit l'autre de manière à les faire adhérer; les filets se croisent alors et produisent des mailles qui sont égales si les paraisons ont été bien préparées. Si le verre opaque est dur, la cannelure produite par les colonnes se maintient à un certain degré quand on souffle la paraison; ces cannelures tordues en sens inverse venant à se croiser quand on engage l'une des paraisons dans l'autre, une bulle d'air restera renfermée dans chaque maille quand les deux paraisons seront réunies; on termine la pièce, par les moyens ordinaires, suivant la forme qu'on veut lui donner.

Indépendamment des verres filigranés, les Vénitiens ont fait quelques essais de ce que j'ai appelé verres mosaïques, plus connus sous le nom de *millefiori ;* mais ils sont restés, sous ce rapport, bien loin de l'antiquité. Voici la manière de fabriquer ces verres :

Les éléments au lieu d'être des baguettes, sont des tronçons de baguettes dont la section présente des étoiles ou autres formes symétriques composées de plu-

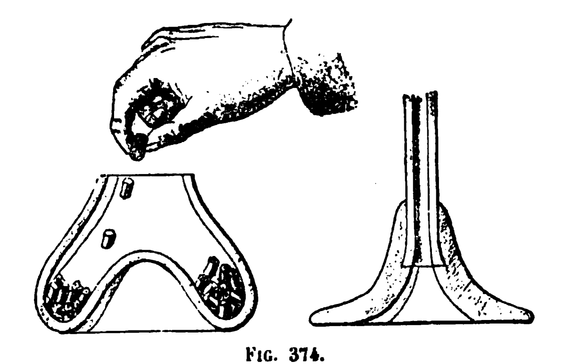


FIG. 374.

sieurs couleurs; par exemple, le verrier formera, au bout de sa canne, un petit cylindre massif en verre rouge autour duquel il appliquera cinq ou six cueillages de verre bleu turquoise qu'il façonnera avec sa pincette pour former des ailes prismatiques triangulaires dont la base est sur le cylindre rouge, puis il remplit les intervalles entre ces ailes avec un verre d'une autre couleur blanc opaque ou jaune; il mabre et enveloppe le tout d'une couche d'une couleur transparente, soit violet clair par exemple. Il peut ensuite introduire cette colonne dans un moule garni intérieurement de baguettes d'une autre couleur ou blanc opaque, qui, par leur section, feront un tour de perles blanches; enfin, quand il a composé sa colonne comme il le désire, il la chauffe fortement et l'étire à la grosseur de 10 à 15 millimètres. On peut varier à l'infini les formes

(fig. 374) et les couleurs des sections. On tranche ensuite les colonnettes en tronçons d'environ 1 centimètre de longueur, et c'est avec ces tronçons



FIG. 375. — Verre craquelé vénitien.



FIG. 375 *bis*. — Verre vénitien

qu'on compose les pièces mosaïques ou *millefiori*. Pour cela on en garnit l'intérieur d'un moule, et l'on fait chauffer au rouge brun, puis on souffle une pa-



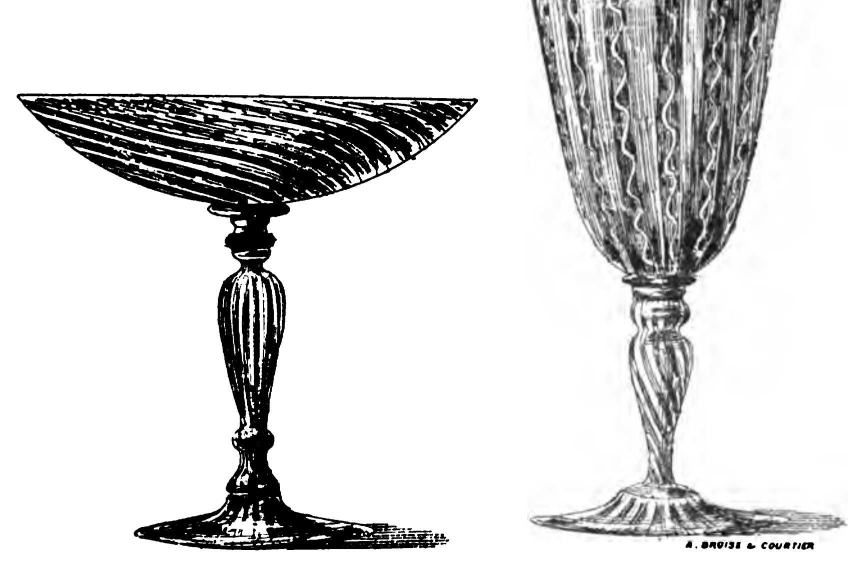


FIG. 375 *ter*.

raison à laquelle on donne à peu près la forme du moule : on la chauffe et on l'engage dans le moule, de manière à faire adhérer les tronçons contre la

paraison ; on rechauffe, on souffle, on mabre et on opère enfin par les moyens ordinaires. Une méthode préférable consiste à faire une paraison dont on fait revenir intérieurement le fond vers la canne, de telle sorte que cette paraison, étant détachée de la canne, présente une ouverture circulaire composée de deux parois concentriques ; on la laisse refroidir ; on introduit entre ces parois



Fig. 376.

des tronçons de baguettes, afin de remplir autant que possible tout le vide ; on réchauffe peu à peu cette paraison, on prépare une canne dont l'extrémité sera garnie d'un disque de verre chaud qui n'intercepte pas le trou de la canne ; on adapte ce disque contre le bord supérieur de la paraison ; et on aspire par la canne l'air renfermé entre les tronçons et les parois de la paraison ; enfin, prenant une autre canne préparée de la même manière, on l'applique contre le côté opposé de la paraison que l'on détache de la première canne : l'intérieur du fond rentré formera alors l'intérieur de la paraison que l'on souffle avec la

deuxième canne, et à laquelle on donne la forme voulue par les moyens ordinaires.

Nous avons dit que, dans les *fabrications à filigranes et millefiori*, les

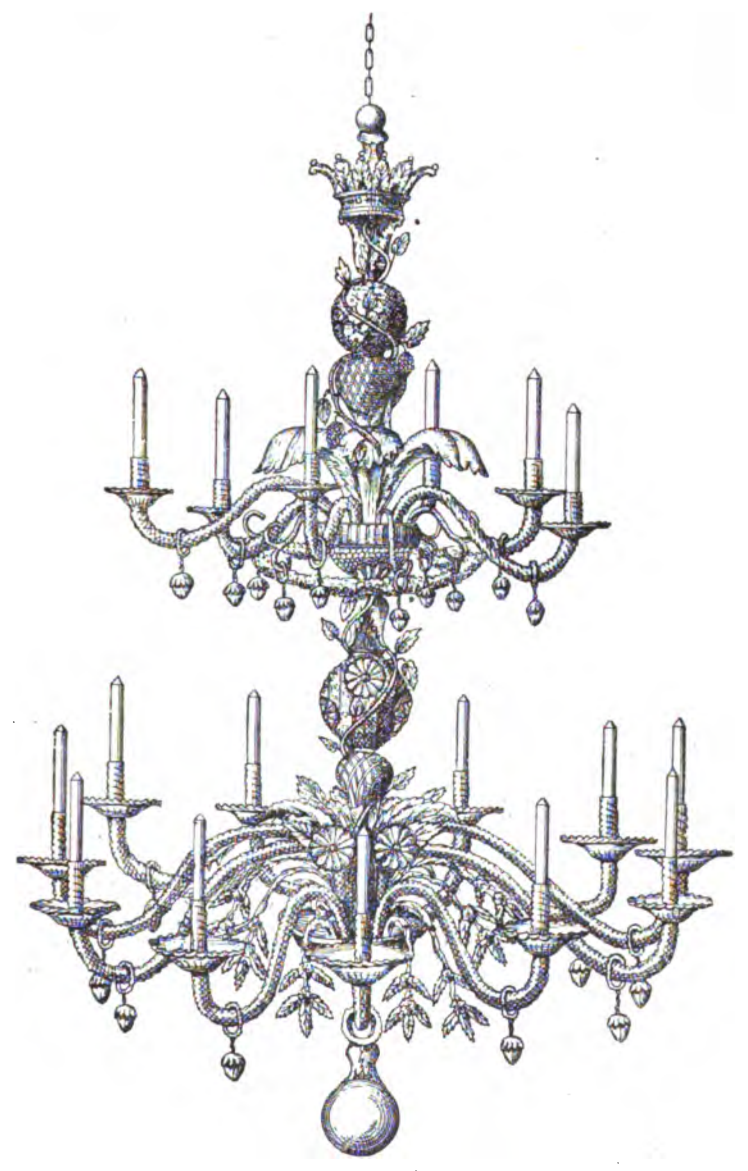


Fig. 377.

paraisons, étant une fois amenées au point convenable, étaient ensuite achevées par les moyens ordinaires. Parmi ces moyens, nous ne devons pas omettre de signaler le procédé du *moulage en bois*. Il ne s'agit pas ici du moulage au

moyen duquel on obtient des dessins en relief sur la face extérieure des pièces, mais du moulage qui procure la forme. Jusqu'à ces derniers temps, les profils de la pièce étaient donnés par l'ouvrier au moyen de ses *fers à lames de bois*, avec lesquels il pressait sur la pièce tenant à l'extrémité de la canne ou du pontil, que l'ouvrier faisait tourner sur les bardelles : l'exactitude de la forme dépendait de l'adresse de l'ouvrier.

C'est à la verrerie de Choisy-le-Roi, dirigée par M. Bontemps, qu'on a recommencé à fabriquer les *verres filigranés* et qu'on a reconstitué les procédés, les tours de mains à l'aide desquels on les produit.

On fabrique aussi à Venise des verres craquelés (qu'on imite, et qu'on fabrique même beaucoup mieux dans les cristalleries françaises). Ce verre, obtenu en plongeant rapidement la paraison dans l'eau, se gerce, se fendille à la surface; on continue ensuite le travail ordinaire, et ces craquelures ne disparaissent plus. Le corps de certains verres, de coupes, est ainsi orné et remplace une gravure mate ou un verre opalin.



FIG. 378. — Serre-papiers avec *millefiori* (*a*).

Bien que le verre de Venise contienne une petite proportion de minium, ce n'est pas un cristal. Ce verre pendant le travail conserve une certaine plasticité qui permet aux artistes verriers de lui donner mille formes qui souvent même sont modifiées pendant leur exécution, soit par le caprice de l'ouvrier, soit à cause de l'effet plus ou moins heureux que présente la pièce soufflée.

On trouve dans les collections, les musées, d'anciens verres de Venise dont la perfection a été rarement atteinte par nos fabricants (fig. 375 et 375 *bis*).

Il n'en est malheureusement pas toujours de même actuellement; nous préférons de beaucoup les lustres de Bohême, ou même les lustres des cristalleries françaises (fig. 376) à ces œuvres surchargées d'ornements en verre pilé, en verre de toutes couleurs, souvent peu harmonisées qui enlèvent aux pièces montées de Venise tout cachet artistique (fig. 377).

Dans les pièces isolées, les verres, coupes, vases de Venise, ce que l'on doit remarquer principalement, c'est l'imagination de l'artiste donnant à un vase des formes multiples et bien souvent gracieuses, originales.

Qui ne connaît ces boules, ou presse-papiers en verre, au centre desquels on voit une multitude de fleurs de différentes couleurs, souvent même des images, figures, bouquets, fleurs (d'où le nom de *millefiori*). Des fragments de baguettes de verre filigrané sont posés dans les rainures d'une plaque de

fonte, chauffés, et recouverts par une paraison de verre chaud dans laquelle ils s'incrustent. On donne ensuite à cette pâte de verre la forme sphérique, semi-sphérique ou aplatie (fig.378). Souvent même on incruste dans cette paraison des figurines en argile blanche, des têtes de pipe, etc.; dans ce cas il faut également faire chauffer ces figurines, employer un verre bien affiné, et éviter avec grand soin d'emprisonner des bulles d'air qui dépareraient complètement l'image ainsi enverrée.

CHAPITRE II

MOSAIQUES

La fabrication des mosaïques est un art bien ancien; le moine Théophile au deuxième livre de l'*Essai sur divers arts*, chap. xv (1), décrit ainsi la manière dont les anciens employaient les mosaïques pour la décoration de leurs édifices : « *Du verre grec employé dans les mosaïques.* — On fait aussi par le procédé employé pour les feuilles de verre, des tables de verre blanc de l'épaisseur d'un doigt, que l'on fend avec un fer chaud en petits fragments carrés, sur lesquels on pose d'un côté une feuille d'or, que l'on recouvre d'une couche d'émail blanc transparent, comme nous l'avons indiqué; on réunit tous ces petits fragments sur une plaque de fer saupoudrée de chaux ou de cendres, dont nous parlerons bientôt, et on porte à la cuisson dans le four à vitraux. Ces petits cubes servent à faire les fonds des sujets en mosaïque et produisent un bel effet décoratif. »

Les Égyptiens ont transmis aux Grecs et aux Romains l'art de faire les mosaïques. Nous avons vu à Pompéi, à Herculanum, des pavés mosaïques dans la plupart des habitations (fig.379-380) au seuil des vestibules. Au musée de Naples nous avons vu la célèbre mosaïque dite bataille d'Arbelles, bataille gagnée en 331 avant Jésus-Christ par Alexandre sur Darius. Cette mosaïque est la reproduction d'un tableau, et le mosaïste a tenu compte des difficultés qui s'imposaient à cette copie; il a dû éviter les plans fuyants, les modelés trop accusés, une trop grande variété de couleurs que lui interdisaient les ressources limitées de son art qui, en lui laissant la libre disposition d'une matière dure, d'un nombre restreint de tons, l'obligeait à procéder par teintes plates et à choisir des compositions simples et calmes. Il a taillé ses cubes à 3 millimètres au plus, mélangé les marbres et les matières vitrifiées, serré le grain, et ainsi avec une grande habileté est parvenu à rendre les effets de la peinture et à en produire l'illusion. Cette mosaïque a encore cela de remarquable qu'elle est la seule copie épargnée par le temps d'un tableau d'histoire qui nous permette de juger de l'état de la grande peinture dans l'antiquité grecque.

(1) Traduction de M. G. Bontemps, préférable pour cette partie technique à celle de M. C. de l'Escalopier.

Le musée de Naples re.ferme encore quatre colonnes rondes complètement recouvertes de mosaïque qui prouvent que les décorateurs anciens ne se sont pas bornés à employer la mosaïque comme parement, mais aussi comme revêtement de toutes les parties visibles des anciens morceaux d'architecture.



Fig. 379 (d).



Fig. 380. — Seuils de porte à Pompéi.

Dès le quatrième siècle, la mosaïque devient la décoration par excellence des édifices religieux, dont tous les sujets ne sont pas cependant d'ordre sacré. Il aut citer parmi les dessins de l'époque de Constantin, la basilique de Saint-Pierre, puis Saint-Paul, Sainte-Constance, Sainte-Pudentienne, d'autres églises de Rome et de Naples, qui furent enrichies de mosaïques.

En 330, au moment de l'inauguration de Constantinople comme capitale de l'empire, Constantin fit décorer de mosaïque un grand nombre d'églises en Orient; entre autres l'église de Saint-Georges à Salonique, en Macédoine; plus tard, au sixième siècle, à Sainte-Sophie on peut juger l'école grecque.

Au cinquième siècle, les historiens signalent quelques mosaïques chez les Francs; aucune trace n'a été conservée de ces ouvrages, on sait seulement qu'il existait des mosaïques à l'église Pierre-et-Paul de Nantes, à l'église cathédrale de Clermont, à l'église de la Daurade à Toulouse.

En Italie, on doit citer les églises de Saint-Ambroise à Milan; à Rome, l'église Sainte-Sabine, Sainte-Marie-Majeure, Saint-Paul-hors-les-Murs; à Ravenne, le baptistère des orthodoxes, la chapelle du palais épiscopal, l'église de Saint-Jean-l'Évangéliste.

Au sixième siècle, les mosaïques sont très nombreuses. En Orient, les plus importantes se trouvent à Sainte-Sophie; là, dans toute la longueur de l'édifice, règnent deux étages de galeries dont les parois étaient recouvertes de plaques de marbre et de mosaïques sur fond d'or.

Depuis longtemps, hélas, ces mosaïques sont recouvertes par une couche d'ignoble badigeon jaunâtre.

Nous donnons ci-après l'analyse de trois verres provenant d'une mosaïque de l'église Sainte-Sophie de Constantinople.

	Bleu transparent.	Rouge opaque.	Jaune pâle transparent.
Silice	67,12	70,71	65,32
Alumine	2,66	3,42	2,58
Peroxyde de fer	1,39	3,26	1,13
Protoxyde de manganèse	0,37	0,55	0,79
Oxyde de plomb	0,27	0,24	0,39
Oxyde de cuivre	»	1,26	»
Oxyde de cobalt	traces.	»	»
Chaux	8,37	7,26	8,18
Magnésie	0,97	1,05	1,44
Potasse	1,26	0,70	0,71
Soude	17,59	11,55	18,96
	100,00	100,00	100,00

A Ravenne, l'église Sainte-Marie-en-Cormédin, l'église Sainte-Apollinaire-Nuovo, Saint-Vital, Saint-Apollinaire-in-classe, subsistent encore.

Au septième siècle, malgré les conditions déplorables de Rome, les papes firent exécuter quelques travaux de mosaïque : à l'église Sainte-Agnès, l'oratoire de Saint-Venance, Saint-Pierre-aux-liens, basilique de Saint-Pierre, Sainte-Constance. En 1860, M. Renan trouva à Sour, sur l'emplacement de l'ancienne Tyr, une belle mosaïque (1), ancien parement d'église, de $14^{m},32 \times 10^{m},43$; cette église fut consacrée en 653.

Au huitième siècle, on constate à Rome quelques travaux exécutés à la basilique de Saint-Pierre, à l'église Saint-Théodore, au palais de Latran.

A Aix-la-Chapelle, le dôme, travail fort médiocre, a été exécuté à l'une des époques les plus tristes de l'art.

Une église consacrée en 806, classée aujourd'hui parmi les monuments historiques, l'église de Germigny-des-Prés (Loiret), renferme, à l'abside, une mo-

(1) Cette curieuse mosaïque a été décrite et gravée dans les volumes XXIII et XXIV des *Annales archéologiques*, de Didron.

saïque dont le sujet est un coffre portatif symbolisant l'arche d'alliance; deux anges ailés et nimbés se tiennent sur le couvercle; deux autres anges très grands semblent protéger cette arche; au sommet de la voûte, une main symbolique sort du ciel étoilé; le fond est bleu, la zone inférieure est d'or; la frise du soubassement, bleue, porte une inscription en cubes d'argent. Cette œuvre est unique en ce pays.

Au neuvième siècle, il y a à Rome et dans toute l'Italie une certaine quantité d'œuvres mosaïques, dont la qualité n'égale point la quantité. Cette décadence ne se fit pas sentir en Orient, et l'empereur Basile fit ajouter des mosaïques à celles qui existaient déjà à Sainte-Sophie; on lui attribue la décoration de l'arc occidental de cet édifice.

Pendant les dixième et onzième siècles, la mosaïque est non seulement en décadence, mais elle semble anéantie en Italie. En France, on admire les mosaïques de Saint-Irénée à Lyon, de Saint-Remi à Reims.

Au douzième siècle, on constate à Rome un réveil dans l'art de la mosaïque, témoin les travaux exécutés à l'église de Sainte-Marie-en-Transtevère; ceux exécutés à la chapelle Zenon de Saint-Marc à Venise, puis en Sicile, Sainte-Marie-de-l'Amiral, la chapelle Palatine, le dôme de Montréal où l'on voit la collaboration des mosaïstes grecs et latins.

Pendant les croisades, la mosquée d'Omar, l'église du Saint-Sépulcre à Jérusalem et l'église de Sainte-Marie et de la Nativité à Bethléem furent enrichies de grandes mosaïques (1).

Avec le douzième siècle s'éteint en Orient la période intéressante de la mosaïque décorative.

L'abbé Suger fit décorer de mosaïques le sol et l'arc de la porte latérale de l'église de Saint-Denis.

Du treizième au quatorzième siècle nous voyons le plein épanouissement de la mosaïque décorative; les basiliques latines nous offrent de nombreux exemples, que nous ne pourrions tous citer sans être obligé de sortir du cadre de ce chapitre. Rappelons seulement les travaux exécutés à Rome à Saint-Jean-de-Latran, à Sainte-Marie-Majeure.

Les tentatives d'implantation de l'art mosaïque en Bohême furent stériles.

Au quinzième siècle, il y eut un temps d'arrêt très marqué dans l'exécution des mosaïques, sauf à Venise et à Florence. La Renaissance transforme complètement l'art de la mosaïque qui s'efface devant la peinture.

A partir du seizième siècle, les mosaïques ne sont plus que des tableaux fixés dans les murs au moyen des émaux; ces tableaux doivent imiter la peinture. Partant de ce principe, les conseils du Titien furent de grand secours aux mosaïstes. Francesco Zuccato et Vincenzo Bianchini; puis Rizzo, Bozza, exécutèrent de nombreux et importants travaux à l'église Saint-Marc de Venise là où la surface couverte de mosaïque est de plus de 4000 mètres carrés.

Les applications des différents genres de mosaïques aux dix-septième et dix-huitième siècles, se trouvent résumées à Saint-Pierre de Rome.

(1) Consultez l'ouvrage de M. Gerspach, *la Mosaïque*, bibliothèque des beaux-arts, Paris Quentin, éditeur.

Actuellement, il n'y a en Europe que trois ateliers officiels ayant pour but spécial d'encourager les travaux de la mosaïque décorative et de former des élèves; ce sont les manufactures du Vatican, de Saint-Pétersbourg et de Paris. Il existe encore quelques fabriques importantes à Rome, à Venise, notamment la fabrique de M. Salviati, celle de la Société générale des verreries et mosaïques de Venise-Murano.

La fabrique de mosaïque du Vatican est la plus importante de toutes celles qui sont en activité. Fondée, ou plutôt assurée d'une organisation régulière, par Benoît XIII, sa fabrication subit des alternatives de plus ou moins grande prospérité, et ce ne fut guère qu'en 1825 que cette fabrication devint normale, au moment de son installation au Vatican même par Léon XII; son passé est glorieux quand on songe que c'est de cet établissement que sont sorties les mosaïques de Saint-Pierre, des églises de Rome, de Saint-Marc de Venise, etc. Actuellement, on tire de cette fabrication les produits qui servent à entretenir et même à augmenter les œuvres des siècles passés.

En 1844, l'empereur de Russie Nicolas fit créer à Rome un atelier de mosaïque qui fut installé ensuite à Saint-Pétersbourg en 1850, annexé aux manufactures impériales en 1856, et réuni à l'Académie des beaux-arts en 1864. De cet atelier sont sortis un certain nombre de mosaïques sujets religieux, pour lesquels on pourrait désirer plus de simplicité d'exécution, ce qui n'eût pas nui à l'effet décoratif obtenu.

En 1806, Napoléon I[er] établit à Paris une école de mosaïque; l'école dépendait du service des beaux-arts, et était dirigée par Belloni. Cette école, supprimée en 1831, a été rétablie en 1876 à Sèvres. Cet art constitue pour la décoration des édifices un puissant auxiliaire, et a droit, à ce titre, aux encouragements de l'État. M. C. Garnier a appliqué la mosaïque à l'Opéra de Paris, notamment pour les sept médaillons du plafond de la loggia extérieure, puis aussi pour le pavage des couloirs. On vient d'appliquer également la mosaïque au Comptoir d'Escompte de Paris.

La décoration de l'abside du Panthéon, les principales décorations de la nouvelle cathédrale de Marseille donneront une idée de ce que peut faire actuellement l'École française de mosaïque et les deux applications que nous venons de citer nous donnent l'espoir que cet art qui se relève en France, sera apprécié comme il le mérite et se généralisera. Car il est difficile de comprendre que l'on ait persisté jusqu'ici, en France et dans toutes les contrées où le soleil se montre discret, à couvrir les voûtes et les murs des édifices d'œuvres peintes, fort coûteuses, que l'humidité condamne à disparaître à bref délai. Il est regrettable que l'on n'ait pas adopté le seul procédé susceptible d'offrir des conditions essentielles d'effet et de durée de la peinture monumentale.

Procédés de fabrication de la mosaïque. — Nous avons pu juger à Venise dans la fabrique de mosaïque de M. Salviati, dans celle de la Société générale des verreries de Venise-Murano, de l'emploi des fragments d'émaux, ou *smaltes*, et de la fabrication de certaines parties de vastes panneaux, sujets décoratifs du plus bel effet.

Un carton sur lequel le peintre mosaïste a tracé et colorié son dessin, sert de

modèle. Le mosaïste a à sa disposition des pains ou disques d'émail de différentes couleurs; ces disques sont cassés à l'aide de marteaux taillants (*martellina*) et amenés à l'état de petits cubes de 1 centimètre environ de côté.

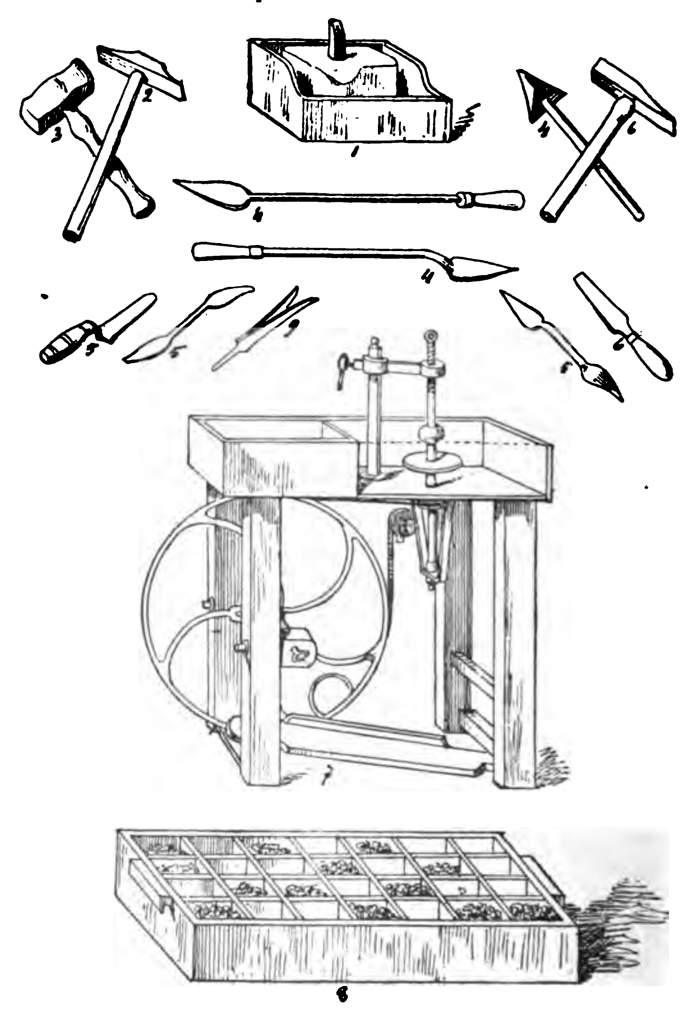


FIG. 381. — Outillage d'un mosaïste (*d*).

1, coupoir (*tagliolo*); 2, marteau à découper les smaltes (*martellina*); 3, marteau à découper les marbres (*martellina da pietra*); 4, fers à encaustiquer (*ferri da stucco*); 5, truelle et spatule à ciment; 6, marteau et ciseau à fouiller le plâtre; 7, meule (*rotino*); 8, casier (*scatola da degradatione*); 9, pincettes à cubes.

Certains de ces fragments de *smalte* sont usés à dessein et présentent des coupes diverses à cause des courbures des dessins à reproduire.

La diversité des teintes est considérable; on nous a affirmé, chez M. Salviati, qu'il en existe plus de trente mille nuances.

Dans une caisse en zinc, ayant la dimension du dessin à reproduire, on coule

du plâtre que l'on aplanit parfaitement; puis on trace au crayon le dessin. A l'aide d'un outil spécial, l'ouvrier mosaïste enlève peu à peu le plâtre, qui est successivement remplacé par un fragment d'émail de la teinte voulue. Le creux laissé par l'enlèvement du plâtre est saupoudré d'un peu de pouzzolane en poudre fine légèrement humectée. Ces fragments s'accumulent les uns contre les autres jusqu'à ce que le dessin soit reproduit. Cela fait, on colle à la surface sur ces carrés de smalte, constituant la mosaïque, une feuille de carton, de façon à y déterminer l'adhérence de tous ces fragments vitreux; cela fait, on retourne la caisse et on applique l'ensemble de ce dessin ainsi constitué sur une couche de ciment (chaux et pouzzolane). Le ciment s'étant solidifié, on enlève la feuille de carton, et la mosaïque est ainsi constituée à l'état de panneau que l'on applique là où elle doit être placée. La mosaïque ainsi fabriquée et appliquée, porte en Italie, le nom de *mosaïco a rivoltatura*. A Venise, il existe encore un procédé plus expéditif qui consiste à décalquer à l'envers le modèle sur un papier, puis à le colorer; les smaltes sont collés faces contre le papier en suivant les colorations, puis on les retourne et on les applique dans le mastic. Ce procédé est très économique, mais il est déplorable en ce sens que l'artiste est ici simplement un ouvrier n'ayant plus la faculté d'interpréter un modèle, il supprime la personnalité, le caractère (1).

Les émaux ou smaltes ont la composition normale suivante :

Sable	1300
Azotate de potasse	60
Fluorure de calcium	300
Carbonate de soude	400
Calcaire ou émail pilé	500
Minium	600

Cette composition normale est colorée par divers oxydes métalliques, par exemple en violet par le peroxyde de manganèse, en blanc par l'oxyde de

(1) Consultez pour la mosaïque les ouvrages de:
E. Müntz, *Notes sur les mosaïques chrétiennes de l'Italie* (*Revue archéologique*, 1875, 1878, chez Didron);
Barbet de Jouy, *Les mosaïques chrétiennes des basiliques et des églises de Rome*, 1857 ;
Vitet, *Dissertation sur les mosaïques chrétiennes ;*
J. Labarte, *Histoire des arts industriels*, 1873;
Didron, *Annales archéologiques ;*
Villemin, *Monuments français inédits ;*
Girault de Prugez, *Monuments arabes et moresques ;*
Gruyer, *Les œuvres d'art de la Renaissance italienne au temple de Saint-Jean*, Paris, 1875;
Vasari. *Vie des peintres, sculpteurs et architectes ;*
Pline, *Naturalis historia*, lib. XXXVI, cap. xxv; lib. XXIV et LXIV ;
Gerspach, *La mosaïque*, Paris, Quentin, 1881 ;
Ed. Didron, *Du rôle décoratif de la peinture en mosaïque* (*Gazette des beaux-arts*, mai 1875);
Ed. Didron, *La mosaïque monumentale en France* (*le Monde*, 20 et 21 mars 1876) ;
Ed. Didron, *Rapport d'ensemble sur les arts décoratifs à l'Exposition universelle de* 1878, chap. III, p. 95-114;
G. Berger, *Notes sur la mosaïque*, Paris, 1876 ;
V. Barbier de Montault, *Les mosaïques de Milan*. Arras, 1881.

cobalt, en jaune par l'urane, vert et rouge par l'oxyde de cuivre, etc. Les émaux destinés aux fonds d'or ou d'argent, sont préparés à Murano en plaçant une feuille d'or ou d'argent sur un disque de verre incolore légèrement concave ; on fait chauffer, puis on coule sur une feuille l'émail en fusion, on aplanit, on remet au four, puis après ce réchauffage on recuit lentement.

Verres murrhins.—On a remarqué également à l'Exposition de 1878 à Paris, parmi les produits de la verrerie vénitienne, des sébilles ou coupes en verre, ayant l'aspect de mosaïques, formées de verres de diverses couleurs, de différentes natures, soudés les uns aux autres, sortes de *pudings* formés de baguettes réunies côte à côte, formant une masse compacte qui creusée, usée mécaniquement, donne naissance à ces coupes qui faisaient l'admiration des amateurs, ou des gens du métier. Ces coupes ou vases *murrhins*, de très petites dimensions, ont une valeur considérable (fig. 382). Trois de ces coupes



Fig. 382.

sont restées à Paris : l'une chez S. A. la princesse Mathilde, la seconde chez M. Dalloz, et M. Didron est possesseur de la troisième, de dimensions plus modestes que les deux précédentes qui ont été vendues 4000 et 6000 francs.

Les Parthes fabriquaient aussi ces coupes spéciales, et les Romains, au dire de Pline, leur attribuaient une valeur énorme.

Les Vénitiens fabriquaient et fabriquent encore le verre filé. C'est avec le verre filé que l'on fit autrefois en Italie des chefs-d'œuvre qui existent encore dans certaines galeries ou musées. En France même, au Conservatoire des arts et métiers, on peut voir un lion de grandeur naturelle dont la crinière est en verre filé, et dont la patte en verre contourné écrase un serpent en verre coulé. Au musée du Louvre on peut également voir, entre autres objets, un joli vase en verre filé.

On a fait des aigrettes, des cravates, des étoffes en verre filé ; aujourd'hui encore, à Saumur, il existe un fileur-émailleur très habile qui imite le poil et la couleur de la plupart des animaux, se sert de fils de verre colorés qui, collés sur une petite carapace de forme donnée, remplacent avec avantage les animaux de bois les mieux faits donnés en jouets aux enfants. A l'Exposition universelle de 1878, on a remarqué les verres filés de la fabrique de Mme Ve Amélie de Brunfaut, de Vienne, produits d'une finesse, d'une souplesse inconnues jusqu'ici. On a remarqué également les verres filigranés de toutes sortes, *millefiori*, etc., de MM. Appert, produits qui, sous le rapport de la fabrication et de la couleur, ne le cèdent en rien aux produits de Venise.

En étirant un tube de verre on arrive à obtenir des fils d'une ténuité extrême qui conservent toujours leurs creux extérieurs. « M. Denchar (1) a pris un tube de thermomètre, dont le diamètre était très petit et l'a tiré en fil ; la roue dont il s'est servi avait 3 pieds de circonférence et comme elle faisait cinq cents tours par minute, on obtenait 30000 mètres de fil par heure, en sorte que le fil était d'une finesse extrême et que son diamètre intérieur était à peine calculable. Ce fil était creux, car étant coupé par morceaux d'un pouce et demi de longueur et placé sur le récipient d'une machine pneumatique, un bout en dedans, l'autre en dehors, il laissa passer le mercure en petits filets brillants lorsqu'on fit le vide. »

Cette fabrication du verre filé, quelque peu tombée dans l'oubli dans ces dernières années, semble prendre actuellement une notable extension. On peut voir en effet à Paris, un atelier où l'on tisse en verre filé de diverses couleurs des étoffes dont le brillant et la souplesse ne le cèdent en rien à la soie.

CHAPITRE III

VERRES COLORÉS

La fabrication des verres colorés est très ancienne ; autrefois il était plus difficile d'obtenir des verres blancs, qui exigent des matières premières purifiées, que de fabriquer des verres colorés. Il est donc naturel de voir les vitres de couleur employées bien avant les vitres ordinaires blanches.

Les verres de couleur ont été fabriquées en grande quantité du douzième au quinzième siècle ; leur fabrication était étroitement liée à celle de la peinture sur verre, à la fabrication des vitraux.

Dès le seizième siècle, la décadence de cet art de la peinture sur verre, de la décoration à l'aide des verres colorés, se fait sentir en même temps que le sentiment religieux diminue.

Au dix-huitième siècle, on recommence, en France, la fabrication du verre à vitres en manchons, on fabrique également quelques verres de couleur, verres bleus, jaunes, violets, dont les applications sont très limitées.

Vers 1825, on reprit la fabrication des vitraux et par là on dut fabriquer de nouveau des verres de couleur.

Bontemps, alors directeur de la verrerie de Choisy-le-Roi, entreprit, en 1826, des essais de reproduction de verres de couleur et notamment des verres rouges, verres doublés et verres colorés dans la masse. Dans cette

(1) *Dictionnaire technologique*, t. XXII, p. 216, Paris, 1833.

branche de la verrerie, comme tant d'autres, Bontemps réussit et ses tentatives, récompensées en août 1826, par la Société d'encouragement, furent immédiatement appliquées à Choisy-le-Roi. Aussi, dans l'excellent ouvrage de Bontemps (*le Guide du verrier*), le chapitre des verres de couleur — entre autres — est-il traité d'une façon remarquable et très étendue. Nous s mmes heureux de rendre encore ici hommage à l'un des maîtres les plus autorisés de la verrerie.

Les *verres colorés* comprennent les verres colorés dans toute leur masse, et les verres formés d'un verre incolore recouverts d'une couche de verre coloré. Ces derniers portent le nom de *verres doublés* ou *plaqués*.

Quant au *verre rouge*, il ne *s'obtient jamais d'une première fonte;* plus il a été fondu, plus on peut avoir la certitude d'obtenir une teinte belle et uniforme.

M. de Fontenay s'est aussi occupé de la fabrication des verres colorés (1836), de la décoration de la gobeletterie au moyen de couleurs vitrifiables appliquées au pinceau et rehaussées par la gravure; en 1837, de la production de la couleur pourpre en doublure et rehaussée par la gravure; le doublé rose par le pourpre de Cassius; les doublés bleu, vert et améthiste, au moyen des oxydes de cobalt, de cuivre, de chrome et de manganèse, le tout avec applications de tailles variées et riches, produits qui acquirent une grande réputation à la verrerie de Valléryslhal. Ces progrès furent récompensés par deux médailles d'or obtenues par cette usine et par son directeur, M. de Fontenay, en 1838 et 1839, aux Expositions de Paris et de Nancy, et par d'autres récompenses données par la Société d'encouragement. Quelques années plus tard la cristallerie de Baccarat en s'attachant M. de Fontenay a pu réaliser rapidement tous les progrès dus à cet habile industriel. Il en fut de même aux cristalleries de Saint-Louis qui s'attachèrent M. Marcus, à la cristallerie de Clichy qui doit le rang qu'elle tient dans l'industrie spéciale dont nous nous occupons, aux travaux de M. Clémandot dont tous les verriers connaissent le nom, et dont beaucoup d'entre eux ont pu apprécier les conseils.

Nous ne pouvons terminer cet exposé sans citer le nom si justement honoré de Peligot, — dont le travail sur les verres colorés par l'urane (verres dichroïdes) a doté l'industrie d'une série de verres du plus joli effet et de propriétés si remarquables.

Aujourd'hui, parmi les fabricants de verres de couleur les plus habiles, nous devons citer MM. Appert frères.

Les substances employées pour colorer le verre ou le cristal, sont en général des oxydes métalliques que le commerce fournit dans un état de pureté aussi grand qu'on peut le désirer.

Les oxydes que l'on emploie doivent toujours être essayés, soit avec un verre ordinaire, soit avec un verre plombeux.

Les verres colorés étant destinés souvent à être *doublés*, c'est-à-dire à être superposés les uns aux autres, doivent se dilater également sous l'influence de la chaleur: on ne peut arriver à ce résultat que par tâtonnements; les verres colorés plombeux sont ceux qui remplissent le plus facilement ces conditions, étant appliqués sur du verre ou du cristal incolore.

A quantité égale, un oxyde colorant quelconque donne une coloration d'au-

tant plus intense que le verre dans lequel on l'incorpore est plus *basique*, et inversement s'il est *acide*.

Les oxydes métalliques employés dans la coloration des verres sont susceptibles de donner des teintes différentes :

1° Suivant l'état d'oxydation dans lequel on les emploie ;

2° Suivant la nature des verres dans lesquels on les incorpore : sodiques, potassiques ou plombeux ;

3° Suivant le degré de température auquel on les soumet ;

4° Suivant la durée de cette température.

L'effet qui se produit dans ces deux derniers cas, est une modification dans l'état d'oxydation du métal.

Ci-dessous le tableau des colorations diverses données par les oxydes ou corps colorants, dans les verres et dans le cristal.

OXYDES COLORANTS.	VERRE SODIQUE.	VERRE POTASSIQUE.	VERRE PLOMBEUX.
Oxyde de cobalt	Bleu violacé terne.	Bleu un peu vert brillant.	Bleu.
Bioxyde de cuivre	Bleu céleste tournant au vert.	Bleu céleste très brillant.	Vert.
Protoxyde de cuivre	Rouge pourpre jaunâtre.	Rouge pourpre plus jaune.	Rouge pourpre sang.
Oxyde de chrome	Vert jaune herbe.	Vert jaune brillant.	Jaune rougeâtre.
Oxyde d'uranium	Jaune vert peu dichroïde.	Jaune serin très dichroïde.	Jaune topaze très peu dichroïde.
Peroxyde de manganèse..	Violet rougeâtre sombre.	Violet améthiste brillant.	Violet rougeâtre.
Oxyde de nickel	Violet jaunâtre sombre.	Violet améthiste sombre.	Violet bleuté.
Peroxyde de fer	Vert bouteille.	Vert bouteille plus jaune.	Jaune vert sombre.
Protoxyde de fer	Vert bleu.	Vert bleu presque bleu.	»
Oxyde d'or	(Or précipité) marron et bleu.	Rouge et rose.	Rouge et rose.
Oxyde d'argent	Jaune serin et jaune orangé dichroïde si le verre est désoxydant.		»
Carbone et soufre	Jaune serin.	Jaune d'or.	Noir (hyalithe).
Antimoniate de plomb...	Opaque blanc.	Opaque blanc à une température élevée devient transparent.	Orangé opaque avec addition de fer est plus foncé.

Les verres colorés en bleu par l'oxyde de cobalt ne présentent aucune difficulté dans leur préparation ; l'oxyde de cobalt n'a pas même besoin d'être d'une pureté parfaite. Quand le verre est fondu, on y ajoute une quantité d'oxyde de cobalt qui varie avec l'intensité de bleu que l'on veut produire.

	(A)	(B)
Carbonate de soude............	110	30
Carbonate de chaux............	55	25
Sable........................	260	100
Oxyde de cobalt...............	0,150	0,400
Oxyde de cuivre noir..........	»	7
Minium.......................	»	10
Nitrate de soude..............	»	6
Groisil blanc.................	»	220

En général, une petite quantité d'oxyde suffit pour donner un verre très fortement coloré (1).

Par transparence, le verre coloré par l'oxyde de cobalt purifié, est rougeâtre, c'est-à-dire que lorsque l'on regarde à travers un verre bleu au cobalt l'intérieur d'un four de fusion, l'atmosphère du four paraît rougeâtre; pour obtenir une teinte neutre, et juger alors convenablement de l'ardeur de la flamme de ce four, il est bon d'ajouter un peu d'oxyde de fer à l'oxyde de cobalt employé comme colorant.

Voici deux compositions qui donnent de bons verres neutres; le numéro 1 est employé pour l'examen des fours; le numéro 2 peut servir à fabriquer des verres minces pour lunettes qui peuvent même remplacer les verres dits « verres fumés »:

	I	II	III
Carbonate de soude à 92°......	100	100	10
Carbonate de potasse..........	»	»	28
Carbonate de chaux...........	50	50	»
Minium......................	»	»	50
Sable.......................	300	300	100
Oxyde de fer de battitures.....	10	30	3
Oxyde de cuivre..............	»	»	2
Oxyde de cobalt..............	0,300	1	»
Oxyde de manganèse..........	»	»	4

Le *verre coloré en bleu céleste* peut être produit, comme nous l'avons dit, avec le bioxyde de cuivre; mais la teinte bleue ne s'obtient avec l'oxyde de cuivre que dans le cas où le verre est alcalin. Le bioxyde de cuivre donne une teinte d'un *vert-émeraude* lorsqu'il est mélangé à l'oxyde d'uranium qui, colorant les verres en jaune, produit une teinte verte avec la couleur bleue due au bioxyde de cuivre.

Les verres à l'urane présentent un double reflet et sont dichroïques (ou dichroïdes); il faut éviter l'emploi du cristal dans leur préparation. Les verres à base de chaux et de potasse — exempts de plomb — sont ceux qui donnent les meilleurs résultats. En ajoutant à de la composition blanche 2 à 3 centièmes d'uranate de potasse, on obtient ce verre dichroïde.

Pour les *verres violets*, obtenus avec le peroxyde de manganèse, on obtient

(B) Bontemps (composition à fondre si possible en pots couverts).

(1) On n'emploie pas le sulfate de soude dans les compositions des verres de couleur; la nécessité de joindre du charbon au sulfate de soude empêche l'emploi de cette composition. Le charbon réduirait les oxydes métalliques colorants

les plus belles teintes en ajoutant aux compositions vitrifiables un peu d'azotate de potasse, afin de maintenir le maximum d'oxydation du manganèse.

Voici quelques compositions de verres violets :

	I	II	III	IV
Sable	100	100	260	100
Carbonate de soude	»	30	110	»
Carbonate de potasse	36	»	»	20
Minium	10	2	»	90
Carbonate de chaux	20	20	55	»
Groisil	»	100	100	»
Nitrate de soude	»	2	0,500	»
Peroxyde de manganèse	6 à 8	10	4	22
Nitrate de potasse	5	»	»	12

On produit les verres colorés en *rose* avec le *pourpre de Cassius*, en rouge avec le *protoxyde de cuivre* et le *peroxyde de fer*. Avec le pourpre de Cassius on obtient le *verre d'or* ou *verre rubis*. En ajoutant de l'argent à des préparations d'antimoine, on peut produire presque toutes les nuances du rouge, du rose au rouge pourpre. On a cru pendant longtemps qu'on ne pouvait préparer le verre rubis avec aucune autre préparation d'or que le pourpre de Cassius. Cependant Fuss a montré il y a environ vingt-cinq ans qu'on obtenait un verre rubis tout aussi bon en humectant le verre ou plutôt la composition employée pour sa préparation avec une dissolution de chlorure d'or. Si le verre d'or obtenu par fusion de la composition précédente est refroidi rapidement, il est incolore tout comme le verre de protoxyde de cuivre. Si ensuite on le chauffe doucement, mais de manière à ne pas le ramollir, la magnifique couleur rouge-rubis apparaît subitement. On donne à cette opération le nom de *recuit du verre*, et elle s'effectue aussi bien dans l'oxygène que dans l'hydrogène et l'acide carbonique. Le *protoxyde de cuivre* employé pour la préparation du *verre de protoxyde de cuivre* se prépare en chauffant au rouge des copeaux de cuivre ou bien on se sert dans le même but des cendres de cuivre, qui se composent en majeure partie de protoxyde de cuivre. Comme base on se sert d'un verre plombeux auquel on ajoute environ 3 pour 100 de protoxyde de cuivre. Comme ce dernier a une grande tendance à se transformer en bioxyde de cuivre et par suite à colorer le verre en vert, on doit ajouter une petite quantité de corps réducteurs; on emploie donc dans ce but des battitures de fer, de la limaille de fer, de la suie, de la mine de *tartre* ou bien encore le brassage avec le bois vert. Après ce refroidissement le verre de cuivre est incolore ; ayant parfois une teinte très légèrement verdâtre ; la couleur rouge n'apparaît que sous l'influence du recuit.

Le verre rose, appelé *rubis de Bohême*, se prépare en fondant le mélange formé de :

Quartz étonné et pulvérisé	100
Minium	150
Potasse fine frittée	30
Borax fondu	20
Sulfure d'antimoine	5
Peroxyde de manganèse	5
Or détonant broyé avec de l'essence de térébenthine	5

(IV) Bontemps, violet doublé fondu en pots couverts

On pense généralement que c'est de l'or très divisé qui colore le verre en rose.

La fabrication du verre rouge à l'or, quoique très ancienne, est difficile et exige des tours de main que chaque fabricant conserve avec soin.

L'or métallique communique également au verre la coloration pourpre; pour obtenir une coloration uniforme il convient d'employer l'or à un très grand état de division; aussi l'état physique de l'or est-il plus à considérer que son état chimique; on l'emploie à l'état de chlorure, d'oxyde de pourpre de Cassius, etc. On imbibe le sable, entrant dans la composition du verre, ou le mélange vitrifiable lui-même, avec la dissolution du sel d'or à intercaler dans le mélange.

La température nécessaire à la fusion du verre pourpre est plus élevée que la température de fusion de l'or ; l'or entre en fusion avant de faire partie intégrante du verre, on doit éviter qu'il se rassemble en gouttelettes vers le fond du creuset et par là soit soustrait à toute action dissolvante. En arrosant ainsi le mélange avec la dissolution du sel d'or, il en résulte une sorte de réduction de l'or, de dorure des grains de sable, de telle sorte que l'or est ainsi maintenu plus longtemps en suspension dans la masse subissant la vitrification.

Les verres colorés par l'or, contiennent tellement peu de ce métal, que l'on a songé déjà à englober dans du verre ou dans du cristal des roches porphyrisées contenant des quantités d'or trop faibles pour être décelées par l'analyse chimique, et on a ainsi obtenu des colorations par le réchauffage de cristal contenant moins de un cent-millième d'or.

Le verre rose ne s'emploie guère que comme *doublage*, sa composition doit être à peu près la même que celle des pièces sur lesquelles elle doit être appliquée et on ne l'emploie lui-même que dans une faible proportion de la pièce à doubler. Dans une composition vitrifiable contenant un sel d'or, on devra ajouter un peu de minium pour rendre le verre plus malléable, et on emploiera une partie de la potasse à l'état de nitrate, on devra aussi s'abstenir d'employer la soude. Les matières étant mélangées sont introduites dans un petit creuset et portées au four dont la température est très élevée ; après la fusion et le recuit, on obtient une masse souvent incolore, quelquefois bleuâtre, qui, divisée en menus fragments, prendra au ramollissage une belle couleur rouge.

D'après Peligot, le verre rose s'obtient également au moyen de la dissolution d'or dans l'eau régale qu'on mélange avec le produit qui résulte de l'action de l'acide azotique sur l'étain. Les deux liqueurs sont versées sur le sable en opérant comme il a été dit ci-dessus. On se sert aussi, pour le même objet, du *pourpre de Cassius*. On ne se rend pas bien compte du rôle utile que l'oxyde d'étain peut avoir dans cette préparation.

L'addition au mélange d'une quantité infiniment petite d'oxyde de cobalt fournit la teinte un peu violacée des feuilles de roses.

L'intensité de la couleur est en raison de la proportion d'or employée. Pour doubler des verres opales ou pâte de riz, ou bien pour tripler sur émail, on a besoin d'un rose très clair. Dans ce cas, on n'introduit dans la composition que un demi-millième et même un dix-millième d'or.

Lorsque le cristal doré est longtemps chauffé, étant convenablement ramolli, il prend d'abord la couleur rouge, puis il se décolore partiellement, et il pré-

sente, après refroidissement, une teinte bleuâtre avec des paillettes très fines d'or brillant ; on fait avec ce produit des objets de bijouterie qui ont eu dans ces derniers temps une certaine vogue.

La fabrication des pièces colorées en rose ou en rouge groseille exige des soins particuliers. On fait, d'une part, une paraison de cristal ordinaire, à laquelle on fait adhérer un petit fragment de cristal aurifère ; en ramollissant ce verre à l'ouvreau, la couleur rouge se développe ; on le rabat avec les fers, on l'étend et on l'égalise sur la paraison.

D'autre part, on a cueilli, avec une autre canne, du cristal ordinaire dont on a fait aussi une paraison sur laquelle on fait adhérer celle à deux couches qu'on vient de façonner ; après qu'elle a été convenablement ramollie à l'ouvreau, on l'étend, et on la rabat, comme un champignon, avec les pinces. On a ainsi une pièce composée de trois couches ; celle du milieu est aurifère. La pièce est alors terminée par les procédés ordinaires. Par la taille, on entame plus ou moins la couche aurifère, et on obtient ainsi des cristaux blancs avec des dessins rouges ou roses. En opérant ainsi, la couche d'or se trouve garantie d'une fusion qui amènerait l'or à l'état de petits globules offrant l'aspect métallique. Dans le but d'obtenir le même retrait, on se sert, comme nous l'avons dit, de cristal ayant la même composition.

Pour les autres verres doublés, on procède autrement : on souffle une petite paraison de cristal coloré, qu'on allonge et qu'on étire avec les fers, de manière à lui donner la forme d'un cylindre épais ; celui-ci étant ouvert à son extrémité, est évasé, et coupé avec un fer froid ; on en sépare une pièce conique, ouverte des deux bouts, qu'on pose sur un support creux en fer ; on introduit dans l'intérieur de ce cône une paraison de cristal incolore ; l'adhérence étant produite, on réchauffe à l'ouvreau, et le verre coloré est réparti uniformément sur la surface du verre blanc. La pièce, ainsi doublée, est terminée par les moyens ordinaires.

D'après Bontemps, voici une composition qui fondue en pots couverts donne un beau verre rose dont on fait souvent usage pour le verre doublé.

D'abord on prend du cristal blanc, soit :

Sable	100
Minium	66,66
Carbonate de potasse	33,34

Puis avec ce cristal on fait la composition suivante :

Cristal blanc (en menus fragments)	100
Minium	15
Salpêtre	3
Pourpre de Cassius	0,25
Antimoniate de potasse	3

On mélange ensemble d'abord le minium, le salpêtre, l'antimoniate et le pourpre de Cassius, et on mêle ensuite le tout avec le cuivre en fragments et on enfourne dans un pot couvert. Le verre qui en résulte paraît d'abord blanc ; ce

n'est qu'en le réchauffant qu'on lui voit prendre la couleur rouge. Ce verre se travaille en doublé comme le rouge et, comme il est d'un prix élevé, on évite de le cueillir à la canne, on le coule en bâtons. Pour cela le verrier cueille le verre au bout d'un pontil, puis il le marbre de manière à en faire un cylindre massif de 0m,12 à 0m,15 de long et de 0m,4 à 0m,5 de diamètre; il tranche ce cylindre près du pontil, et le détache dans le four à recuire, puis il en cueille un second, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le contenu du creuset soit épuisé. En faisant ainsi quelques potées travaillées de cette manière, on peut avoir un approvisionnement pour faire une très grande quantité de verre doublé, pour lequel on procède de la manière suivante: On fait chauffer dans une arche le nombre de bâtons présumés nécessaires pour un travail; un gamin prend un de ces bâtons au bout d'un pontil sur lequel il y a un peu de verre chaud; il va réchauffer ce bâton à l'ouvreau; puis, venant à son maître qui a de son côté pris une très petite portion du verre au bout de sa canne et qu'il a commencé à souffler, il applique le verre de couleur contre le verre blanc. L'ouvrier tranche alors avec sa pincette ce qu'il veut de verre de couleur, soit le cinquième, le quart ou le tiers du bâton de couleur; puis il va chauffer de nouveau, et enfin va cueillir le verre blanc nécessaire par-dessus son verre coloré. Au lieu de faire des bâtons cylindriques, on peut encore couler le verre dans une sorte de lingotière; tranchant le verre de distance en distance pendant qu'il est encore chaud, on le divise ainsi en fragments d'une longueur voulue que l'on fait recuire.

Par cette méthode, on évite de mettre du verre coloré sur la canne; tout le verre coloré est employé sans perte dans la pièce fabriquée.

On peut encore obtenir un beau verre rouge en prenant du cristal blanc, attendri par 5 à 6 pour 100 d'oxyde de plomb, et y ajoutant, à l'état de pourpre de Cassius ou de dissolution dans l'eau régale, 50 à 100 grammes d'or fin. Le verre sera d'autant plus beau qu'il n'entrera pas de soude dans la composition et que la température du four de fusion sera plus élevée, et plus rapidement élevée.

Voici encore d'autres compositions :

Sable	100	100	100
Potasse	48	35	30
Chaux éteinte à l'air	8	»	»
Pourpre de Cassius	6	8	12
Oxyde de manganèse	4	4	6
Nitrate de potasse	»	7	5
Sulfure d'antimoine	»	4	6
Minium	»	78	60

En résumé on peut dire que :

1° Pour préparer un verre coloré en rouge par de l'or, il n'est pas nécessaire d'employer du pourpre de Cassius, ou d'ajouter au chlorure d'or de l'oxyde d'étain ou de l'oxyde d'antimoine.

2° On peut, par l'addition de chlorure d'or ou même d'or métallique très divisé, soit à un verre plombeux très fusible, soit à un verre à base de potasse ne renfermant que très peu de minium (1/128e), obtenir un verre qui se colore en rouge pendant le travail.

3° Si l'on emploie du pourpre de Cassius, ce dernier est décomposé pendant la fusion du verre, et il s'en sépare de l'or métallique.

4° En porphyrisant de l'or métallique en poudre fine avec des substances dures et pulvérulentes on obtient des mélanges colorés en rouge.

5° La coloration du verre paraît due, suivant toutes les probabilités, à de l'or très divisé.

Plusieurs autres corps métalliques présentent des phénomènes de coloration analogues. Le platine et l'iridium en poudre mélangés avec de l'émail donnent une belle couleur noire non métallique. L'argent colore les verres en jaune transparent, vus par réfraction, et en vert bleu grisâtre, vus par réflexion. Lorsque ces verres sont réchauffés un trop grand nombre de fois, ils deviennent laiteux, et on y distingue des petits grains d'argent, phénomène absolument identique à celui produit par l'or.

Enfin, les changements de couleur produits par les changements d'état moléculaire de l'iodure de mercure, du carbone, du soufre, du sélénium, du phosphore, du mercure, de l'oxyde de fer, etc., et les anneaux colorés, prouvent que rien ne s'oppose à ce que l'or présente les mêmes phénomènes.

VERRE ROUGE COLORÉ PAR LE CUIVRE.

Les anciens connaissaient le moyen de colorer le verre en rouge à l'aide de l'oxyde de cuivre. Néri et Kunckel en font mention dans leurs ouvrages.

« Prenez vingt livres de la fritte de cristal, une livre de fragments de verre blanc, deux livres d'étain calciné; mêlez toutes ces matières: faites-les fondre et purifier; lorsque tout le mélange sera fondu, prenez parties égales de limaille d'acier calcinée et pulvérisée, et d'écailles de fer bien broyées, mêlez ces deux matières, et mettez-en deux onces dans le verre lorsqu'il sera bien purifié; ce mélange le fera gonfler considérablement; il faudra lui donner cinq ou six heures de temps pour s'y incorporer parfaitement et prendre garde de ne point trop mettre de la poudre que l'on vient d'indiquer; cela rendrait le verre noir, au lieu qu'il doit être d'une couleur foncée mais transparente. Lorsque vous serez parvenu à lui donner cette couleur, prenez d'aes-ustum du chapitre XXIV, bien broyé environ six drachmes; mêlez-les au verre, et remuez souvent le mélange; à la troisième ou quatrième fois, votre matière paraîtra avoir pris un rouge de sang. Il faudra faire de fréquentes épreuves de la couleur: et aussitôt qu'on la trouvera telle qu'on la demande, il faudra se mettre à travailler promptement cette composition; car sans cela le rouge disparaîtra et le verre deviendra noir. De peur que la couleur ne disparaisse, il faut outre cela que le creuset soit découvert, et que toutes les circonstances s'observent soigneusement; surtout on se gardera de mettre trop de limaille d'acier et d'écailles de fer, de peur que le verre ne noircisse au lieu de prendre une couleur d'un jaune obscur, c'est alors qu'en y ajoutant le cuivre calciné il deviendra d'une très belle couleur. J'en ai l'expérience, il faut aussi que la matière ne s'échauffe pas trop dans le creuset, et ne demeure point plus de dix heures au fourneau; si la couleur venait à disparaître pendant cet intervalle, ce qui arrive quelque-

fois, on la rétablirait en ajoutant de nouveau des écailles de fer. Cette opération demande beaucoup d'attention et de soin. »

Remarques de J. Kunckel sur le chapitre LVIII. — « En suivant le procédé indiqué par l'auteur pour le rouge, l'on aura une couleur si foncée qu'à moins de rendre ce verre extrêmement mince en le soufflant, on ne pourra en distinguer la couleur; il est presque impossible de faire cette composition de cette façon dans nos fourneaux de verrerie allemande, parce qu'il faut une manière toute particulière de gouverner le feu. Après m'être donné des peines incroyables, je puis me flatter d'être enfin parvenu à faire le plus beau rouge et à imiter les rubis : mais comme ce secret m'a coûté beaucoup de soin, de peine et de travail, on ne trouvera point mauvais que je ne le communique pas quant à présent (1). »

Dans cette fabrication du verre rouge, le cuivre remplit le principal rôle, c'est à lui seul qu'est due la coloration; les autres matières : fer, acide stannique, tartrate de potassse, ne sont qu'accessoires. Le cuivre à l'état de protoxyde colore le verre en rouge, c'est pour le maintenir à cet état d'oxydation qu'on y ajoute divers composés. L'oxyde de cuivre que l'on emploie provient de la décomposition de l'acétate de cuivre par le sucre, ou du sulfate de cuivre par le carbonate de soude.

Voici une composition qui permet d'obtenir à pots couverts des résultats satisfaisants :

Sable	100
Carbonate de soude sec	75
Chaux	20
Oxyde de fer et de cuivre (2)	10
Acide stannique	10

Quand ce verre est fondu, coulé, on le pile en fragments d'un centimètre environ et à 100 parties de ce verre on ajoute :

Sable	80
Carbonate de soude	30
Chaux	14

A 100 parties de ce nouveau verre fondu, coulé, pilé à la même grosseur que le précédent, on ajoute 35 parties de sable; on fond de nouveau.

M. Bontemps conseille la formule suivante pour obtenir en pots couverts un verre rouge très beau et régulier; ce verre est généralement employé pour doubler le cristal et la gobeletterie en rouge.

Sable	25
Minium	50
Oxyde de cuivre	1,200
Acide stannique	3

Ce verre étant fondu, *maclé*, coulé, broyé, est enfourné et fondu de nouveau,

(1) Chap. LVIII, p. 147, *l'Art de la verrerie*, de Néri, Merret et Kunckel, 1752.

(2) On calcine graduellement, et jusqu'au rouge, parties égales de battitures de cuivre et de sulfate de fer. Le mélange d'oxydes ainsi obtenu est noir, assez fin; c'est celui que l'on a employé ici.

cela trois fois de suite après des temps de fusion variant de deux à trois heures et des maclages espacés et répétés. Au second maclage et coulage, ce verre est jaune clair, au troisième il est d'un jaune orangé avec quelques parties d'un jaune transparent. Après ce troisième coulage on le mélange avec 25 parties de verre blanc formé de :

Sable	100
Carbonate de potasse	36
Chaux	18
Minium	3

Ces 25 parties de groisil blanc sont fondues avec le verre rouge coloré et broyé décrit ci-dessus, on fond de nouveau en ajoutant seulement 30 à 40 grammes de tartre ou de copeaux d'étain et on obtient un beau rouge.

Les verres rouges du treizième siècle, qui restent rouges vus à une distance de plusieurs mètres, peuvent être imités, en ajoutant à

100 de cristal blanc,
3 à 4 parties d'oxyde d'étain,
0,800 à 1,00 de protoxyde de cuivre,
2,500 à 3,000 d'oxyde de fer.

L'oxyde de cuivre peut colorer le verre en beau vert-émeraude et en bleu clair, en bleu-turquoise et en bleu céleste.

On fabrique en Bohême et en Sibérie, un verre blanc laiteux connu sous le nom de *verre d'albâtre* La composition de ce verre ne diffère pas de celle du cristal ordinaire (le cristal de Bohême est un verre non plombeux à base de potasse). Aussitôt que ce verre est fondu, on l'épuise et on l'étonne. On fond ensuite une nouvelle quantité de matières à laquelle on ajoute, lorsque la fusion est complète, le verre étonné et froid, ce qui refroidit la masse, et, aussitôt qu'elle est fondue, on la travaille à la température la plus basse possible. Le verre restera d'un blanc laiteux, tandis que si l'on eût élevé la température, il fût devenu incolore et transparent.

Si l'on ajoute de l'oxyde ou du sulfate de cuivre à un verre incolore, et que la température soit assez élevée, on obtient un verre transparent d'un vert légèrement bleuâtre. Si l'opération a été conduite comme nous l'avons indiqué plus haut, de manière à obtenir un verre laiteux, ce verre sera coloré en bleu turquoise. Enfin si on refond ce verre coloré en bleu turquoise, à une température élevée, on obtiendra un verre bleu transparent couleur d'aigue-marine.

Couleurs d'émail rouges. — Les couleurs rouges ont toutes pour base l'oxyde de fer; c'est la différence des procédés employés à sa fabrication qui produit les variations de nuances, encore celles-ci ne sont-elles stables que jusqu'à une température ne dépassant pas le rouge-cerise, soit environ 1000 degrés. C'est la plus forte chaleur pour les couleurs de moufle et spécialement pour les couleurs dites dures.

On prépare ces couleurs rouges à l'aide du sulfate de fer qu'on fait sécher et calciner à un degré d'autant plus élevé qu'on veut obtenir un rouge plus violet.

Salvetat s'est occupé tout spécialement de l'étude du rouge fer, et il a trouvé qu'on obtient le rouge orange plus vif et plus stable par une addition d'oxyde de zinc ou d'alumine, tandis que les nuances violettes doivent un bleu plus accentué à l'addition d'une petite quantité d'oxyde de manganèse.

La différence dans les nuances de coloration de l'oxyde de fer pur tient à la température à laquelle cet oxyde a été soumis : le ton devenant d'autant plus puissant que la température a été plus élevée.

Toutes les colorations que l'oxyde de fer peut prendre sous l'effet de la coloration forment une gamme, de l'orange au rouge et au violet; elles peuvent être considérées comme composées de jaune rouge et bleu qui, mêlés ènsemble, donnent un gris plus ou moins sombre selon l'intensité des trois couleurs élémentaires.

Plus la température d'ignition de l'oxyde a été basse, plus le jaune reste dominant; le bleu, au contraire, domine si la calcination a été faite à très haute température.

D'après cela, il semble démontré que la coloration doit être d'autant plus pure, que le changement de couleur s'est opéré à une température déterminée, et uniformément dans toute la masse de l'oxyde de fer; cette coloration sera d'autant plus parfaite, que toutes les parties auront été chauffées exactement au même degré.

Pour obtenir ce résultat, on est amené à ne calciner à la fois que de très petites quantités d'oxyde de fer et à agiter fréquemment la masse pendant la calcination. Lorsque, d'après des essais on a obtenu la coloration désirée, on cesse d'augmenter la température.

En opérant de cette façon on peut obtenir toute la gamme des colorations : rouge orange, rouge sang, rouge viande, rouge carmin, rouge laque, rouge violet.

Pour l'emploi, on broie ces couleurs avec un verre obtenu en fondant ensemble :

Quartz	19,5
Minium	57
Acide borique cristallisé	21
Borax fondu	2,5

En prenant une partie d'oxyde de fer rouge orange, avec quatre à six parties de ce flux, on obtient le rouge orange, et de même pour les autres nuances.

Nous avons dit plus haut, en parlant des verres au cuivre, que la coloration donnée par un oxyde métallique est variable avec la nature oxydante ou réductrice de l'atmosphère des fours.

La détermination rigoureuse de cette action des gaz a été faite récemment par M. E. Damour.

Bien que les recherches de M. E. Damour aient porté sur des pâtes à porcelaines et des couvertes qui, en raison de leur porosité relative, subissent plus que les verres cette influence des gaz, nous croyons que le lecteur trouvera intéressant de connaitre le résultat des études faites à ce sujet.

Le principe en est très simple. De petites plaques de la porcelaine à étudier : pâtes colorées sous couverte incolore ou pâte blanche sous couverte

colorée, sont placées dans un tube de porcelaine chauffé à 1.400 degrés, température moyenne des fours à porcelaine, et l'on fait circuler lentement dans ce tube le mélange gazeux oxydant ou réducteur dont on veut étudier l'effet sur les couleurs.

Ce courant de gaz est obtenu au moyen d'un réservoir d'acide carbonique liquide donnant un débit régulier de gaz, qui, au moyen d'une fourche de distribution, est bifurqué et envoyé :

1° En partie dans un tube de porcelaine contenant du charbon de bois chauffé au rouge, qui le transforme en oxyde de carbone;

2° En partie directement à un tube à trois voies, qui réunit les deux courants : il suffit évidemment de régler l'intensité du débit de part et d'autre pour avoir un mélange $\frac{CO}{CO^2} = \frac{m}{1}$ de composition constante et connue.

Les plaquettes des épreuves sont fabriquées par compression dans un moule de bronze; les pâtes et couvertes sont colorées par des sels solubles des métaux précipités : de leurs dissolutions, par des réactifs volatils-ammoniaque, ou oxalate d'ammoniaque, suivant une méthode due à M. Vogt; les plaquettes sont ensuite dégourdies, puis enduites de la couverte par les procédés habituels.

Pour la circulation du mélange gazeux réducteur, le débit régulier d'acide carbonique est assuré par un robinet à pointe, et le dosage de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone est obtenu d'une façon très satisfaisante en faisant barboter les deux gaz dans des éprouvettes à pied contenant de l'acide sulfurique; puis, en comptant les bulles de part et d'autre, et en réglant les débits à l'aide de robinets à pointe intercalés sur chaque circuit.

Le chauffage des tubes — qui, dans l'état actuel de l'outillage des laboratoires, présente les plus grandes difficultés — n'a pu être obtenu qu'au moyen d'un four à récupération, construit spécialement sur les indications de M. Damour, par M. Lequeux, et dérivant du four Mermet et du four Perrot, modifié, présenté récemment à la Société d'encouragement. Tandis que le four Mermet ne donne que 1.100 degrés, le nouveau four atteint facilement 1.250 degrés, et si l'on y adjoint une soufflerie, il peut donner les températures de 1.400 degrés, et même 1.450 degrés, nécessaires aux présents essais.

Le contrôle de l'appareil et les mesures sont fournis : pour les températures, par le pyromètre de M. Le Chatelier; pour les analyses du mélange gazeux, par la burette Bunte, et aussi par la burette à densité de gaz de M. Meslans, placée à la sortie de l'appareil.

Les premières études de M. E. Damour ont porté exclusivement sur le fer et le cobalt, elles ont été poursuivies successivement sur la pâte nouvelle de Sèvres, les pâtes de Vierzon et Limoges, sur les couvertes correspondantes, et accessoirement sur le borate de zinc. Bien que n'étant que la première étape d'une série de recherches analogues, elles ont déjà donné des résultats très intéressants.

Le cobalt, avec toutes les pâtes donne du bleu : ce bleu est plus ou moins vif, suivant que l'atmosphère est oxydante ou de plus en plus réductrice. Exceptionnellement, on a pu obtenir un beau noir; mais cela dans un cou-

rant d'oxyde de carbone presque pur, et avec la pâte et la couverte de Sèvres uniquement.

Il n'y a donc pas, de ce côté, de résultats très intéressants, étant donné la difficulté d'obtenir de telles atmosphères dans l'industrie.

Pour le fer, les résultats sont plus remarquables; dans les couvertes, ce métal peut donner des colorations peu variées, surtout dans les tons bleus, verdâtres, assez semblable au céladon des Chinois.

Il suffit, avec la couverte de Sèvres à 2 pour 100 de fer, de 10 pour 100 d'oxyde de carbone pour obtenir cette nuance, qui se maintient dans des gaz très réducteurs. Les autres couvertes ne donnent pas facilement le céladon, et ont plutôt tendances à se décolorer dans une atmosphère réductrice.

Pour les pâtes, les nuances sont également variées et parfois jolies; mais le plus intéressant est la possibilité de décolorer d'une façon complète une porcelaine contenant jusqu'à 2 pour 100 de fer en la cuisant dans une atmosphère tenant 20 pour 100 d'oxyde de carbone. Ce phénomène est surtout manifeste sur la pâte de Vierzon.

Un troisième résultat mis en évidence par les expériences de M. E. Damour est l'influence de la composition des pâtes et couvertes sur leur coloration : les trois pâtes essayées ont en effet donné constamment des nuances différentes dans des conditions de cuisson identiques.

L'auteur a terminé en montrant l'utilité pratique que peuvent présenter ces divers résultats au point de vue de l'industrie céramique; pensant donc qu'il y aurait intérêt à poursuivre et préciser ces études sur le fer, et, se proposant de les continuer, il a promis à la Société d'encouragement de la tenir au courant de ses recherches.

Pour les pâtes, les nuances sont également variées, et parfois jolies, mais le fait le plus intéressant est la possibilité de décolorer d'une façon complète une porcelaine contenant jusqu'à 2 pour 100 de fer en la cuisant dans une atmosphère tenant 20 pour 100 d'oxyde de carbone. Ce phénomène est surtout manifeste sur la pâte de Vierzon.

Un troisième résultat mis en évidence par les expériences est l'influence de la composition des pâtes et couvertes sur leur coloration : les trois pâtes essayées ont en effet donné constamment des nuances différentes dans des conditions de cuisson identiques.

Ces résultats sont très intéressants et montrent quel intérêt pratique il peut y avoir, en céramique et en verrerie, au point de vue de la décoration des pièces, à poursuivre des études dans ce sens.

MOYEN DE PLAQUER LE VERRE EN TABLES OU DE LE RECOUVRIR D'UNE COUCHE COLORÉE UNIFORME

On emploie depuis quelque temps, dans les établissements qui gravent le verre au moyen d'un jet de sable, des verres en tables glacés. Le verre blanc incolore ou légèrement coloré dans sa masse est recouvert d'une couche colorée

plus ou moins épaisse qui, par la chaleur, s'unit avec lui pour former un conduit homogène.

L'industrie verrière ne produit que deux couleurs transparentes, le jaune d'or à l'argent et le rouge au cuivre, appartenant aux verres dits plaqués, ainsi appelés parce que la couche colorée ne se trouve pas sur le verre, mais qu'elle s'unit intimement avec lui en donnant à sa surface une couleur jaune ou rouge.

Il n'en est pas de même des couleurs transparentes proprement dites, qui peuvent recevoir cette propriété à un haut degré. Les oxydes métalliques sont reliés avec la surface du verre par une masse vitrifiable aisément fusible. Pour les verres employés à la décoration des fenêtres, il faut que l'enduit soit le plus uniforme, qu'il recouvre le mieux possible et qu'il s'unisse d'une manière intime avec le verre, sans que sa surface cesse d'être plane après la cuisson. Les verres pour grisailles et fenêtres en mosaïque, doivent être fortement cuits, ce qui leur donne les propriétés que nous admirons dans les vitraux anciens.

Les verres employés pour la décoration des murs, des plafonds, des meubles, etc., doivent avoir une surface extérieure plane, lisse. Ces couleurs sont opaques.

Le transport de la couleur sur le verre, emprunté à la fabrication du verre mousseline, a lieu au moyen d'une brosse ou pinceau, et constitue une opération très difficile et quelquefois presque impraticable.

La méthode suivante, peu coûteuse, supprime toutes les difficultés et produit une couche colorée qui a partout la même épaisseur et la même intensité. La couleur n'est pas transportée au moyen d'un pinceau, mais le verre est saupoudré d'une manière tout à fait uniforme dans une caisse où l'on peut traiter en une demi-heure 6 mètres carrés de verre en tables. La caisse est en bois sec, bien assemblé et recouverte entièrement à l'intérieur de papier glacé; elle est munie à haufeur d'œil de deux petites fenêtres opposées, à l'aide desquelles on peut observer la marche de l'opération, et elle est accessible de tous les côtés. Une porte, placée sur le devant, permet d'y pénétrer; il ne peut y avoir à l'intérieur aucune partie saillante ou aucun angle rentrant et la surface doit être parfaitement unie, afin qu'il ne puisse se déposer dans ces parties des poussières fines, qui tomberaient ensuite sur le verre et le détérioreraient.

Pour pouvoir glacer en une fois 6 mètres carrés de verre, la caisse doit avoir à l'intérieur $1^m,50$ de haut, 3 mètres de long et 2 mètres de large; elle repose sur un bâti solide de $0^m,8$J de haut. Un tiroir ou chariot muni de deux poignées règne sur sa longueur et sa largeur entières; ce chariot roule sur un chemin de fer placé au fond de la caisse au moyen de six galets tournés en fer, qui doivent être graissés constamment, afin que le mouvement du chariot soit doux. Un prolongement du chemin de fer, monté sur des bras en saillie, et qu'on peut enlever, permet de retirer entièrement le chariot pour opérer le chargement et le déchargement. Toutes les ouvertures doivent bien fermer et sont recouvertes, en outre, de châssis matelassés, munis d'un côté de charnières et qu'on peut fermer de l'autre côté au moyen de tourniquets.

La couleur en poudre fine, légèrement échauffée, est injectée dans la caisse à l'aide d'une soufflerie. Comme la force nécessaire est très faible, si l'on n'a

pas d'autre moteur à sa disposition, on peut se servir d'un mécanisme à main qui imprime à un ventilateur de $0^m,20$ de diamètre une vitesse de cinq cents tours par minute. Une même soufflerie peut desservir plusieurs caisses. Le tuyau qui amène l'air est placé, de préférence, en dessous du plancher, afin de ne pas gêner; il a de $0^m,020$ à $0^m,025$ de large et est entièrement uni à l'intérieur, afin qu'il ne puisse s'y produire aucun dépôt de couleur qui se mélangerait plus tard avec une autre couleur. Immédiatement devant la caisse, ce tuyau est élargi pour recevoir la boîte à couleur, dont le couvercle supérieur est formé d'un tamis fin et qui est disposée de telle façon que le courant d'air la traverse avec toute sa force et entraîne la couleur. Le réservoir à couleur est muni d'un clapet se fermant bien et dans lequel est encastré un verre d'observation. Le tuyau remonte par derrière et débouche dans la caisse à $0^m,30$ environ en dessous du couvercle; sa partie supérieure est évasée en forme de trompette dont la largeur est quatre fois plus grande que celle du tuyau même; elle ne peut faire saillie dans la caisse, mais doit affleurer exactement la paroi postérieure de celle-ci. Du tulle à mailles serrées est tendu sur l'ouverture, afin de diviser la couleur et de retenir les impuretés qui auraient pu être entraînées.

Les feuilles de verre à glacer sont recouvertes, sur une table spéciale, d'un enduit composé de trois parties de térébenthine et d'une partie de laque, auquel on a ajouté une petite quantité de glycérine pour empêcher un séchage trop rapide. On verse le tout ensemble dans une grande bouteille et l'on agite afin d'opérer un mélange intime; on doit aussi remuer avant d'appliquer l'enduit sur le verre. Les feuilles sont placées, de préférence, sur deux règles et frottées rapidement avec une grande brosse large, puis on les dépose immédiatement sur le chariot l'une auprès de l'autre. Lorsqu'il y a de petits morceaux, plusieurs personnes doivent être employées à cette opération; en général, deux personnes suffisent pour deux caisses.

Après que le chariot est recouvert de feuilles, on le pousse sans choc dans la caisse et on ferme celle-ci au moyen du châssis. La couleur chauffée est placée dans le réservoir et, après avoir ouvert le clapet du tuyau d'air, on fait agir la soufflerie jusqu'à ce que toute la couleur ait été lancée dans la caisse, ce dont on peut s'assurer en regardant par le verre du couvercle.

La couleur, entraînée par le courant d'air dans la caisse, se dépose lentement et régulièrement sur les feuilles de verre en vertu de la pesanteur, de sorte que les poussières les plus fines tombent les dernières et qu'on obtient une couche très fine et homogène. Quand le dépôt est terminé, on vide le chariot et on place les feuilles de verre dans un canal ou moufle de séchage, où l'huile se volatilise en partie en rendant l'enduit solide. On peut alors conserver les feuilles dans un endroit sec jusqu'au moment de la cuisson. On fait ensuite de même pour la seconde caisse, et le travail marche sans interruption, de telle sorte qu'on peut remplir une caisse toutes les demi-heures. La production est donc de 120 mètres carrés pour dix heures.

L'épaisseur du dépôt se règle en modifiant la quantité de couleur placée dans le réservoir et elle ne varie pas pendant l'opération. Après dix opérations environ, on donne quelques coups sur les parois de la caisse et on enlève les poussières avec un blaireau; on fait de même chaque fois qu'on change de couleur

Le jaune d'argent et le noir, si difficiles à produire jusqu'ici sur les grandes feuilles, s'obtiennent aisément en toute nuance et en couche régulière. En mélangeant deux couleurs, on obtient de beaux effets; la seconde couleur est déposée en couche plus mince immédiatement après la première (1).

VERRE VERT

Éviter la teinte verte est l'obstacle contre lequel tous les verriers ont à lutter. S'agit-il au contraire d'obtenir une belle teinte verte, franche, régulière, assez foncée, la difficulté existe encore; elle existe d'autant plus qu'avec le gaz de la houille, et pour peu que l'on agisse en pots découverts, on doit éviter la réduction partielle des sels de cuivre qui sont associés aux sels de fer et de chaux, pour produire la coloration verte. C'est cette difficulté qui nous a porté à indiquer dans ce chapitre les compositions vitrifiables que l'on doit obtenir en pots découverts, ou les compositions plus tendres que l'on doit produire en pots couverts.

	I	II	III (2)
Sable	160	260	100
Carbonate de soude	30	110	»
Carbonate de chaux	23	55	»
Carbonate de potasse	»	»	»
Minium	»	»	120
Nitrate de potasse	7	»	10
Nitrate de soude	»	0,500	»
Oxyde noir de cuivre	5	0,500	11
Oxyde de fer	3	»	4
Bichromate de potasse	3,5	1	1,8

La malachite artificielle est un verre tenant en suspension, dans sa masse, du cuivre à différents degrés d'oxydation.

Ces différents oxydes de cuivre se combinent avec la silice pour former des silicates pendant la fusion des matières, puisque le verre est transparent après la fonte ; mais, si l'on conduit convenablement le réchauffage des pièces, pendant le travail, ces différents oxydes de cuivre se trouvent en grande partie précipités et restent en suspension dans la masse du verre, lui donnant d'abord son opacité, et, par le mélange irrégulier des différents degrés d'oxydation, produisent les veines que l'on remarque dans la malachite, et qui sont parfois d'une grande richesse.

Ce même principe, qui consiste à précipiter des oxydes métalliques et à les tenir en suspension dans la masse du verre, peut recevoir en verrerie de nombreuses applications. Ainsi, avec de l'oxyde noir de cuivre, on obtient un verre complètement noir.

(1) *Dingler's Polytechnisches Journal.*

(2) I, II, pots découverts;
III, pots couverts.

Cette précipitation des oxydes métalliques dans les masses vitrifiées n'est, du reste, que la confirmation de la loi pressentie par Ebelmen, relativement à la possibilité de précipiter les oxydes métalliques dans les silicates en fusion. Cette précipitation se fait surtout dans un verre chargé de base métallique, d'oxyde de plomb par exemple. Ainsi dans un verre acide, il faut de grandes quantités d'oxyde noir de cobalt ou d'oxyde noir de manganèse pour faire du verre noir, suivant que l'on emploie l'un ou l'autre de ces deux oxydes. Tandis que dans un verre chargé de minium, il en faut des quantités relativement faibles. Il est facile d'expliquer ce fait.

Avec de l'oxyde de chrome, on obtient un verre opaque tenant en suspension de l'oxyde de chrome, ce qui donne un verre vert de la couleur du chrome précipité, et non un verre noir. En laissant refroidir ce verre très lentement dans le four ayant servi à la fusion, l'oxyde de chrome en suspension dans la masse du verre cristallise et l'on obtient l'aventurine verte de M. Pelouze.

A l'Exposition de 1867, parmi les produits de la cristallerie de Saint-Louis figuraient deux cache-pots en verre triplé bleu sur émail. Les dessins noirs sur bleu de ces deux cache-pots étaient obtenus au moyen de la précipitation de l'oxyde noir de cobalt dans les couches superficielles du verre bleu qui sert de doublure. Cette précipitation dans les couches superficielles est suffisante pour donner cette belle teinte noire qui conserve encore un peu de translucidité.

VERRE JAUNE.

Les anciens coloraient le verre au moyen de compositions d'argent; ces procédés qui datent des premières époques de la peinture sur verre, employée pour les vitraux d'églises, sont encore les mêmes aujourd'hui. Cet art, si utile au peintre verrier et qui a toujours été pratiqué au pinceau, doit son existence à cette particularité que pour la coloration par les préparations d'argent on peut, sans lui faire subir la moindre altération, l'opérer sur du verre déjà formé et même taillé et poli; et cependant la couleur ne reste pas à la surface du verre comme les couleurs de moufle; elle pénètre au contraire dans sa masse.

Le verre se colore très facilement par l'argent et à des températures assez peu élevées. La coloration des verres à l'argent est un jaune transparent, couleur d'ambre. Le procédé de coloration consiste à triturer du chlorure d'argent avec de l'argile et de l'eau, de manière à en former une bouillie qu'on applique sur le verre à l'aide d'un pinceau. Puis on soumet pendant quelque temps ce verre ainsi préparé à une température un peu inférieure à celle de son ramollissement.

Après refroidissement graduel de la feuille de verre, on enlève l'enduit par un lavage, et cette feuille de verre est colorée uniformément; si l'enduit a été répandu suivant un dessin quelconque, ce dessin se trouve ainsi reproduit.

Les verres jaunes colorés dans leur masse sont obtenus par l'addition au mélange de verre blanc, de soufre ou de charbon.

M. Didierjean, l'habile directeur des cristalleries de Saint-Louis, a été amené à examiner l'action dans le verre, des sulfures d'abord et du soufre ensuite,

vers 1859, en faisant des essais sur la substitution, en totalité ou en partie, du carbonate de baryte au minium dans le cristal. Ce carbonate de baryte donnait au verre, dans certaines circonstances, une teinte très légèrement jaunâtre; et l'analyse a démontré à M. Didierjean qu'il contenait de 3 à 4 pour 100 de sulfure de baryum.

Avec le verre à la potasse, le soufre ajouté dans la proportion de 1 à 1,5 pour 100 de verre blanc donne une belle coloration jaune. Voici une composition qui, d'après M. Peligot, donne une belle teinte jaune :

Sable	150
Carbonate de potasse	75
Chaux éteinte	38
Soufre en fleur	2,100

Le verre à la soude se colore également, mais la coloration est moins belle qu'avec la potasse.

Voici deux compositions qui donnent de belles teintes avec le charbon (il est préférable d'employer le charbon de bouleau ou de peuplier) :

	I	II
Sable	100	130
Carbonate de soude	45	55
Carbonate de chaux	35 a 40	27
Charbon	4	1 à 1,5

Dans ce chapitre sur les verres de couleur nous avons employé l'expression de *verres colorés dans la masse* et celle de *verres doublés.*

Le verre de couleur destiné à doubler le verre blanc doit être d'une teinte très foncée, afin que la couche de couleur soit le plus mince possible pour être plus facilement gravée et pour ne pas occasionner la rupture du manchon par le fait de la superposition de deux ou plusieurs verres de natures différentes.

Pour fabriquer le verre doublé, le verrier fait chauffer sa canne, cueille dans le pot de verre coloré en prenant le moins possible de ce verre afin d'éviter une perte de matière sur le bout de canne. 200 grammes de verre coloré suffisent pour obtenir une feuille de verre de 50 centimètres superficiels à 2 millimètres d'épaisseur. Le cueillage étant arrondi, le verrier souffle légèrement dans la canne afin de faire pénétrer dans le verre, en détachant ainsi la canne, une bulle d'air de 2 centimètres environ de diamètre, puis il laisse refroidir ce cueillage avant de le recouvrir de verre blanc, puis le manchon est soufflé et étendu dans les conditions ordinaires ; de l'habileté de l'ouvrier dépendent l'économie apportée dans son cueillage et l'uniformité de la teinte.

VERRES MARBRÉS

En ajoutant à ces compositions des oxydes métalliques tels que l'oxyde de cobalt, le borate de manganèse, des sels de chaux, de cuivre, on obtient alors des verres opaques, que l'on peut même rendre *marbrés* (veinés).

(1) M. Bontemps.

Voici comment on produit ce verre opaque veiné :

On produit d'une part, un verre opaque blanc en fondant un mélange de :

1	Sable blanc	900
	Cryolithe	300

D'autre part, on a fondu un mélange formé de :

2	Sable blanc	900
	Cryolithe	300
	Oxyde de cobalt	5

Quand les deux compositions ci-dessus sont devenues liquides (après un séjour de une heure et demie environ, dans le four de fusion), on verse le verre n° 2 dans le creuset contenant le verre n° 1 (verre blanc), on agite brusquement et en tous sens, pendant quelques secondes, puis on coule le verre ainsi mélangé dans des moules, pour en faire des pièces de toutes espèces de formes, ou sur des tables en fonte pour en faire des glaces. Ces glaces serviront à faire des dessus de guéridons, tables de jeu, tables de toilette, etc.

Si l'on voulait obtenir un verre bleu peu foncé, avec des veines de même couleur, on rentrerait dans le four le creuset contenant les deux verres de couleurs différentes (après leur mélange, on l'y laisserait séjourner trois quarts d'heure environ et on coulerait alors le verre comme il a été dit précédemment).

Au lieu d'obtenir des veines bleues et blanches, on pourrait obtenir des veines vertes, roses, violettes, etc.

Dans ce cas on remplacerait l'oxyde de cobalt de la composition n° 2 par 80 grammes de bichromate de potasse (pour la teinte verte); par 80 grammes de borate de manganèse, ou 50 grammes de peroxyde de manganèse purifié (pour la teinte rose violette).

Les verres à la cryolithe exigent une forte température de recuisson et un refroidissement très gradué.

Verre marbré rouge. — Dans la fabrication des verres colorés, et du verre rouge en particulier, on emploie principalement les sels de protoxyde de cuivre. La grande facilité avec laquelle ces sels se peroxydent s'oppose à ce qu'on les emploie comme couleur d'application ; lorsqu'on les introduit dans la masse du verre, ils doivent être accompagnés d'un peu d'étain ou de fer : ces métaux attirent à eux l'oxygène, et de cette manière le protoxyde de cuivre conserve son état normal d'oxydation.

Pour obtenir les produits qui suivent, on emploie simultanément les sels de cuivre et les sels de fer; ces derniers, étant à un degré inférieur d'oxydation, réduisent le sel de cuivre pour passer au maximum. Les sels de fer présentent, en outre, l'avantage de donner des verres colorés en vert; les sels d'étain auraient ici l'inconvénient de donner des verres blancs opaques, ce qui nuirait au relief des veines rouges données par le sel de cuivre. Cela dit, voici comment on opère pour produire les verres veinés de rouge.

On fait fondre dans deux creusets différents :

	I	II
Carbonate de soude	100	100
Carbonate de chaux	50	50
Sable	260	260
Oxyde de fer (battitures)	15	»
Oxyde de cuivre (CuO)	»	10

Lorsque ces deux verres sont bien fondus, bien affinés, on verse dans un de ces creusets le contenu des deux creusets que l'on vient de sortir du four, on agite la matière en tous sens; on laisse reposer deux heures environ, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de bulles dans la masse de verre en fusion, puis on verse le contenu de ce creuset dans des moules, ou sur une table de fonte, en ayant soin toutefois, en versant ce verre, de promener le creuset au-dessus de la table de façon à multiplier les dessins à la surface du verre, ce qui produira les marbrures.

Il n'est pas nécessaire de prendre exactement 15 de fer et 10 de cuivre pour avoir le même résultat; en prenant 10 à 15 de fer pour 5 de cuivre, le résultat sera le même. On peut même fondre les deux compositions dans le même creuset, en ayant soin d'ajouter à la masse vitreuse une pincée de charbon pilé ou de battitures de fer si la coloration venait à disparaître, et en brassant alors, après chaque addition, la masse avec une tringle de fer, la couleur marbrée reparaîtrait aussitôt.

Le verre produit par ce procédé est d'un vert foncé parsemé de larges veines rouge pourpre. Des blocs de ce verre, substitués au marbre pour les pendules, dessus de cheminées, etc., ont produit le plus joli effet et sont d'un prix inférieur au marbre. Ces objets de verre, moulés et soumis à la trempe, feraient pour les appartements de beaux ornements pour cheminées, escaliers, etc. Nous ajoutons qu'avec le procédé employé actuellement pour le durcissage du verre, uni au moulage, on obtient des pièces de verre présentant un assez gros volume dont les applications se multiplieront.

On prépare encore des plaques de verre ou des glaces ornementées, en les peignant sur la face opposée aux regards, à l'aide de couleurs fines, de manière à leur donner l'aspect de mosaïques, de marbres, etc. Ces plaques sont garanties à l'envers par une seconde feuille de verre. A cet état elles sont employées comme moyen décoratif.

Pour la préparation d'un verre ressemblant au marbre ou au jaspe, MM. Weiskopf et Cie, à Morchenstern (Bohême), fondent :

Sable	100
Sel de Glauber	3
Oxyde de fer	4
Charbon de bois	12
Soude	36
Potasse	12
Chaux	12

On obtient un verre noir dans lequel on produit des marbrures par addition de 1 partie de sulfure d'argent et 5 d'ocre de fer. Le sulfure d'argent peut être remplacé par du chlorure.

Un mélange de 1 partie de carbonate de cuivre et 1 à 3 parties d'ocre de fer donne une coloration qui varie du rouge brun clair au rouge brun sombre.

Verre au phosphate de chaux. — Cette matière, due à M. Sidot, est un pyrophosphate de chaux.

Le phosphate acide de chaux soumis à la chaleur, se transforme en une matière cristallisée qui, soumise à une température plus élevée, passe à l'état vitreux.

Pour préparer ce verre, on chauffe le phosphate acide de chaux à une température qui progresse jusqu'au rouge, on agite et on maintient cette température pendant quelques heures, en arrivant au rouge blanc. On coule ce verre sur une plaque chauffée, et on refroidi lentement. Préparé avec soin, ce verre ressemble au verre ordinaire, il est très réfringent et son indice de réfraction est de 1.523. celui du crown étant de 1,525; sa densité est 2-6. Il se laisse travailler comme le verre ordinaire, il ne dissout pas tous les oxydes métalliques comme le verre ordinaire, mais dissout les oxydes de cobalt et de chrome. Ce verre est attaqué par les acides bouillants, — il ne le paraît pas à froid — et par la potasse. *Il n'est pas attaqué par l'acide fluorhydrique.* Cette propriété peut être utilisée pour la confection de verres de lunettes destinés aux graveurs sur verre.

Aventurine. — L'aventurine est un verre contenant dans sa masse du cuivre métallique et du protoxyde de cuivre. Fabriquée longtemps à Murano, par des procédés tenus secrets, on l'obtient maintenant assez facilement, grâce aux recherches faites il y a quelques années (1) par MM. Fremy et Clémandot qui ont démontré qu'on obtient de l'aventurine en chauffant, en présence d'une masse vitreuse, un mélange de protoxyde de cuivre et de silicate de protoxyde de fer. Dans cette réaction, le silicate de protoxyde de fer s'empare de l'oxygène du protoxyde de cuivre et se transforme en silicate de peroxyde de fer qui ne colore pas sensiblement la masse; le cuivre régénéré cristallise alors en octaèdres parfaitement réguliers.

Des analyses chimiques, faites principalement par M. Wœhler, ont démontré également que l'aventurine de Venise est composée d'un verre tendre, tenant en suspension du cuivre métallique et cristallisé dans du verre fondu, de là la nécessité de faire en sorte que les cristaux métalliques restent disséminés dans la masse vitreuse.

Or, lorsqu'on connaît l'oxydabilité du cuivre, sa fusibilité et qu'on apprécie toutes les circonstances qui peuvent s'opposer à la cristallisation du métal et à la répartition égale de ses cristaux dans le verre en fusion, on comprend les difficultés à surmonter pour arriver à un résultat. Le choix du composé qui, par l'action de la chaleur, doit donner naissance à du cuivre métallique, n'est pas moins difficile. On doit éliminer en effet les corps qui, pour produire du cuivre, exigeraient une température trop basse ou trop élevée; car, dans le premier cas, le métal s'agglomérerait avant la fusion du verre; dans le second, il

(1) *Recherches sur l'aventurine artificielle*, Fremy et Clemandot, 1846. Mémoire présenté à l'Académie des sciences.

entre en fusion, se sépare du verre et se rassemble en culot au fond du creuset, on ne peut s'arrêter aux réactions qui, en produisant du cuivre métallique, donnent naissance à un dégagement de gaz abondant, ou bien au dépôt d'un corps coloré ou insoluble dans le verre. Il fallait donc trouver un composé qui, à la température de la fusion du verre, donnât naissance à du cuivre métallique.

Après avoir essayé sans succès l'action des différents métaux sur les verres colorés par l'oxyde de cuivre, on a examiné la réduction que les oxydes au minimum d'oxydation peuvent faire éprouver au protoxyde de cuivre, et l'attention s'est principalement fixée sur celle que l'oxyde de fer des battitures exerce sur le protoxyde de cuivre.

On a vu que sous l'influence de la chaleur, l'oxyde de fer des battitures ramène rapidement le protoxyde de cuivre à l'état métallique, en passant lui-même à l'état de peroxyde de fer. Or cette réaction est éminemment propre au but que l'on se propose, elle donne naissance, en effet, à du cuivre métallique et elle offre l'avantage de produire un oxyde métallique (le peroxyde de fer) qui est soluble dans le verre, et qui ne lui donne qu'une coloration légèrement jaunâtre. La formation du silicate de peroxyde de fer paraît même une circonstance heureuse ; car, en donnant de la densité au verre, ce silicate doit s'opposer naturellement au dépôt des cristaux métalliques. C'est donc avec confiance qu'on a essayé de reproduire l'aventurine de Venise, en chauffant un mélange de verre, de protoxyde de cuivre et d'oxyde de fer des battitures. L'expérience est venue confirmer ces prévisions.

En chauffant, en effet, pendant douze heures, un mélange de 300 parties de verre pilé, de 40 parties de protoxyde de cuivre et de 60 parties d'oxyde de fer des battitures, et en le soumettant à un refroidissement très lent, on a obtenu une masse vitreuse qui contenait d'abondants cristaux de cuivre métallique.

Certains échantillons d'aventurine préparés, offrent une certaine opacité qui nuit à l'éclat des cristaux métalliques, et ces cristaux aussi ne paraissent pas assez volumineux.

Pour se convaincre de l'identité de cette aventurine avec celle qui se fabrique à Venise, on les a examinées comparativement au microscope et on a reconnu que, dans l'une et dans l'autre, le cuivre était cristallisé en octaèdres réguliers. Ainsi, dans cette aventurine, le cuivre est dans le même état que dans celle de Venise.

D'après M. Hautefeuille (1), les cristaux triangulaires et hexagonaux qui se trouvent dans l'aventurine et qui lui donnent sa couleur, ne sont que du silicate de protoxyde de cuivre, en suspension dans un verre alcalin non dévitrifiable, et non du cuivre métallique.

M. Hautefeuille appuie son opinion sur l'expérience de M. Levol qui consiste à traiter l'aventurine finement pulvérisée par la potasse caustique. Si l'on amène la dissolution au moment où le verre seul est dissous, on obtient une

(1) *Note sur l'aventurine artificielle*, Hautefeuille. Communication à la Société d'encouragement.

couleur violette verdissant à l'air. Après avoir recueilli ces petits cristaux et les traitant par un sel de mercure, on constate qu'ils ne changent pas de couleur, d'où l'on conclut qu'ils ne sont pas formés de cuivre métallique, mais de silicate de protoxyde de cuivre.

Cependant ces cristaux d'aventurine traités par l'ammoniaque s'y dissolvent, et la dissolution se colore en bleu à l'air, ce qui est bien un caractère des sels de cuivre. Le silicate de cuivre n'est pas soluble dans l'ammoniaque.

Voici les compositions que M. Hautefeuille conseille d'employer pour obtenir l'aventurine :

Glace de Saint-Gobain..........	2000
Nitre..........................	200
Battitures de cuivre...........	125
Peroxyde de fer.............	60
Sable..........................	1500
Craie..........................	357
Carbonate de soude sec.........	801
Carbonate de potasse	143
Nitre..........................	200
Battitures de cuivre...........	125
Verre..........................	1200
Sable..........................	600
Carbonate de soude............	650
Nitre..........................	206
Battitures....................	125

Quand le verre sera bien liquide, on ajoutera 38 grammes de tournure fine de fer, par portions de 12 grammes à la fois, enveloppées dans du papier; on les y incorporera en maclant le verre au moyen d'une tige de fer rougie et, quand tout y sera, on verra le verre devenir rouge sang et opaque, et, de liquide, devenir pâteux et bulleux; alors, arrêtant le tirage du fourneau, fermant le cendrier, couvrant de cendre le creuset et laissant refroidir lentement, le lendemain on trouvera l'aventurine formée.

Voici une composition qui a donné de bons résultats, en opérant dans un four de verrerie, en agissant en présence d'une atmosphère réductrice, et en obtenant un refroidissement très lent, et si possible, dans une atmosphère un peu fumeuse :

Sable blanc....................	250
Carbonate de soude sec.........	100
Carbonate de chaux.............	50
Battitures de fer (légèrement calcinées)......................	100 à 115
Battitures de cuivre............	20 à 25

Aussitôt que le verre sera fin, on le maclera avec une tige de fer et on enfournera de nouveau après l'effervescence produite par ce maclage. On pourra également employer le mélange suivant :

Sable blanc....................	250
Carbonate de soude sec.........	100
Carbonate de chaux.............	50
Battitures de cuivre............	15 à 25
Sanguine (Fe^2O^3)...............	150 (Henrivaux).

L'*hématinone* est l'état du verre coloré en rouge par le cuivre, dans lequel le précipité se présente par masses et rend le flux complètement opaque; le verre offre alors l'aspect d'un émail formé par une masse rouge vif, ou rouge vermillon (1).

D'après Pettenkofer (2), les hématinones antiques peuvent s'obtenir en fondant des verres plombiques avec 9 pour 100 d'oxyde de cuivre et de battitures de fer, de manière à obtenir un flux couleur de foie, aussi homogène que possible, qu'on laisse se solidifier et qu'on expose ensuite pendant plusieurs heures à la température à laquelle ce verre commence à se ramollir; c'est par le chauffage subséquent seulement que se développent la couleur rouge et l'opacité du verre. L'emploi des battitures de fer, comme moyen de réduction, n'est pas indispensable; mais elles ont sur l'étain l'avantage de donner un verre beaucoup plus fusible et plus facile à obtenir, une addition de magnésie calcinée peut également être très utile.

L'hématinone est le produit d'une cristallisation dans un verre demi-mou et presque solide; l'aventurine est formée par des cristaux abandonnés par un verre liquide.

L'aventurine nous paraît être moins le produit de la fusion que du refroidissement du verre fondu, c'est pourquoi on doit attacher beaucoup d'importance au refroidissement lent et bien gradué de ce produit. D'après Ebell les cristaux brillants de l'aventurine de Venise sont formés de cuivre métallique.

A l'Exposition de Paris en 1878, MM. Monot et Stumpf, de Pantin, avaient exposé des blocs d'aventurine dont l'aspect, le brillant, ne le cédaient en rien à l'aventurine de Venise.

Aventurine verte, à base de chrome. — A côté de l'aventurine de cuivre, vient se placer l'aventurine à base de chrome découverte par Pelouze en 1865.

Le bichromate de potasse, de même que le sesquioxyde de chrome, jouit de la propriété de communiquer au verre une teinte verte.

Le bichromate de potasse se décompose par la chaleur en oxyde de chrome et en chromate neutre de potasse.

Ce dernier sel est à son tour décomposé par la silice du verre, et il en résulte du silicate de potasse et de l'oxyde de chrome.

Avec 10, 15, 20, 25 grammes de bichromate de potasse mélangés à la composition vitrifiable ordinaire, on obtient des verres colorés en vert plus ou moins foncé, plus ou moins jaunâtre. Si l'on porte à 40 grammes la proportion de bichromate de potasse, on obtient alors un verre très foncé rempli de cristaux

(1) Ebell, *Verre au cuivre* (*Moniteur scientifique*, du Dr Quesneville).
(2) Pettenkofer, *Mémoires de la Commission d'industrie scientifique de l'Académie de Bavière*, t. I, p. 123.

extrêmement brillants de sesquioxyde de chrome, c'est l'*aventurine verte*. Voici le dosage indiqué par Pelouze pour obtenir cette aventurine :

Sable	250
Carbonate de soude sec	100
Carbonate de chaux	50
Bichromate de potasse	40

Avec plus de bichromate, la fusion du verre devient très difficile. Cette aventurine est plus dure que l'aventurine jaune.

Pour l'obtenir de qualité satisfaisante, on devra la couler en plaques minces, les cristaux de sesquioxyde de chrome venant généralement à la surface, tandis que la masse en contient très peu. (Nous donnons à l'*Appendice* quelques compositions nouvelles pour verres de couleur.)

HYALITHE

On donne le nom d'*hyalithe* à un verre ordinairement coloré en noir, obtenu en faisant fondre avec du verre ordinaire, des os calcinés, des scories de forges, du poussier de charbon, des basaltes, des laves, etc.

L'hyalithe est souvent aussi dure que la porcelaine et peut la remplacer dans plusieurs de ses usages; on peut également s'en servir pour imiter le marbre noir. Voici une composition qui donne un verre noir très remarquable :

Sable	300
Carbonate de soude sec	100
Carbonate de chaux	45 à 50
Peroxyde de fer ou résidus de pyrites grillées	40 à 45

VERRE CRAQUELÉ

Les verres incolores ou colorés, désignés sous le nom de *verre craquelé*, présentent à leur surface des dessins irréguliers formant saillie, de la même couleur ou d'une autre couleur que celle de la masse. Leur fabrication consiste à promener la paraison sur une plaque de fer sur laquelle on répandra du verre concassé en menus fragments. Ce verre adhère à la masse vitreuse. On réchauffe la pièce, on la pare avec les fers, on la souffle et on termine sa façon par les procédés ordinaires. Le verre craquelé est aujourd'hui très répandu et on en fait de jolis objets d'usages très variés.

COTON DE VERRE

On obtient le coton ou laine de verre, en lançant un jet d'air ou de vapeur à

haute pression à la surface de verre liquide qui se trouve alors entraîné, par ce courant rapide, en plis d'une ténuité considérable. En employant des verres diversement colorés on obtiendra alors des étoffes avec des nuances variées, et dont la teinte n'aura pas l'inconvénient de changer d'intensité aux rayons solaires. Au point de vue de la dispersion de la lumière, ce nouveau produit peut également recevoir de nombreuses applications.

FABRICATION DE LA LAINE MINÉRALE

L'idée d'utiliser le laitier de haut fourneau en le transformant en un produit fibreux appelé laine minérale est née en Allemagne; la première installation faite dans ce but fut fondée à Osnabruck, par Lürmann. Ce produit a été fabriqué depuis un certain nombre d'années industriellement dans un petit haut fourneau, à Greenwood (New-Jersey, États-Unis), et, la demande s'étant accrue, un second fourneau a été installé à Stanhope (New-Jersey); ce fourneau livre par jour vingt chariots de laitier à la fabrique de laine minérale. Le procédé actuellement en usage diffère sous plusieurs rapports, quant à ses détails, de celui suivi dans le principe et décrit à cette époque, et M. Parrott fournit à ce sujet les renseignements suivants :

La longueur et la finesse de la fibre obtenue en insufflant de la vapeur à travers un courant de laitier fondu dépendent beaucoup de la composition et de la température de la matière fluide ; une scorie très fluide et chaude donne une quantité plus grande de fibre très fine. A Stanhope, la vapeur a une pression de 3 à 5 atmosphères, s'échappe par une ouverture en forme de croissant de 37 millimètres sur 35 millimètres et vient frapper un courant de laitier fondu d'un doigt d'épaisseur environ, qui s'écoule du chariot à scorie sur un chenal réglant le courant. La vapeur divise le laitier en une quantité innombrable de petites masses ou dragées, qui, en se détachant, forment un fil ou fibre; cette transformation est due exclusivement à la force mécanique des particules de vapeur, dont la vitesse peut être estimée à 600 mètres environ par minute.

La matière est projetée contre un mur en briques élevé dans une grande chambre, qui sert à recueillir la laine; les grenailles sont ainsi séparées de la fibre et restent emprisonnées dans la laine déposée sur le fond de la chambre. A Stanhope, il existe deux de ces chambres, dans chacune desquelles débouchent quatre jets, disposés par couples; l'une des chambres est vidée après qu'on l'a laissée refroidir pendant une demi-journée. La laine mélangée de grenailles est transportée à un crible à l'aide d'un appareil spécial; on doit remuer la matière pendant un très long temps et en rejeter jusqu'à 100 kilogrammes par mètre cube; la laine est transportée ensuite au magasin. 80 pour 100 du produit obtenu forment la quantité ordinaire, qui pèse environ 400 kilogrammes par mètre cube; les 20 pour 100 restant constituent ce que l'United States Mineral Wool Company appelle la qualité extra, exempte de grenailles et pesant environ 240 kilogrammes par mètre cube. Les courants d'air produits dans la chambre par les jets de la vapeur entraînent les fibres les plus légères au-dessus du mur en briques dans une chambre postérieure, où elles s'accumulent et

forment la matière qui fournit la qualité extra. Le crible est un appareil très simple, composé d'une caisse d'environ 2m,50 de long, sur 0m,90 de large et 0m,60 de haut, recouverte par-dessus d'un tissu métallique à mailles de 6mm,35; la caisse est suspendue de manière que la surface du crible soit légèrement inclinée et elle reçoit un mouvement de va-et-vient rapide au moyen d'un excentrique. De l'air est lancé par un ventilateur à travers le crible et emporte ainsi la poussière fine. Actuellement, on n'utilise qu'une partie du laitier, parce qu'elle se fige; mais on songe à construire un fourneau à réverbère, dans lequel la scorie fondue venant du haut fourneau sera chargée et conservée, jusqu'au moment de l'utiliser; on pense qu'on aura ainsi un travail plus régulier, parce que le laitier sera alors à la température convenable. L'installation actuelle de Stanhope produit environ 1000 kilogrammes par jour.

La laine minérale est employée principalement comme substance mauvaise conductrice de la chaleur, et les essais dont voici ci-contre les résultats, exécutés par M. Emery et publiés dans une communication faite par lui à la Société des ingénieurs mécaniciens d'Amérique, montrent l'utilité de ce produit. Les expériences furent faites en se rapprochant, autant que possible, des conditions dans lesquelles les tuyaux de vapeur et leurs enveloppes protectrices se trouvent dans la pratique. M. Emery a trouvé ainsi que la couverture en poils constituait la meilleure substance non conductrice et, en représentant sa valeur par 100, les autres matières essayées ont la valeur suivante :

Laine minérale n° 2.....	Couche de 0m,05 d'épaissseur....	83,02
Sciure de bois.........	—	68
Laine minérale n° 1....	—	67,60
Charbon de bois........	—	63,20
Sapin coupé en travers..	—	55,30
Terre................	—	55
Asbeste...............	—	36,30
Enveloppe d'air........	—	13,60

M. Emery fait remarquer le peu d'efficacité de l'enveloppe d'air, résultat tout à fait en opposition avec l'opinion généralement répandue. Il attribue ce peu d'efficacité à ce fait, qu'il se produit une circulation : l'air se refroidit d'un côté de l'enveloppe, descend et remonte de l'autre côté. Il pense que c'est probablement l'air qui est la substance non conductrice; mais il faut le tenir en repos et empêcher sa circulation.

MÈCHES DE LAMPES EN VERRE

On fabrique en Allemagne des mèches de lampes en verre filé. Ces mèches amènent l'huile de pétrole ou l'alcool plus régulièrement et les lampes qui en sont munies peuvent être maniées avec moins de danger. Pour une flamme égale, ces mèches en verre donnent une lumière plus pure et plus claire : elles ont une odeur moins désagréable, consomment moins de combustible et donnent, dans les lampes à esprit-de-vin, une chaleur plus intense et une flamme moins tremblante.

YEUX ARTIFICIELS

Voici le mode de fabrication de M. Bax pour obtenir les yeux artificiels :

L'opération se réduit : 1° à fondre les lentilles de verre ; 2° à les user et les polir ; 3° à les peindre.

« 1° Pour fondre les lentilles, mon appareil, dit l'auteur, consiste en une boîte de tôle confectionnée sans soudure. Celle dont je fais usage est construite ainsi qu'il suit : 22 centimètres (8 pouces) de longueur, 14 centimètres (5 pouces) de largeur, et 4 centimètres (1 pouce 1/2) d'épaisseur. Ces proportions ne sont point rigoureuses. Cette boîte peut être comparée à un étui de livre, elle n'est ouverte qu'à une extrémité. J'introduis par cette ouverture un plateau ou tiroir de même métal, large de 13 centimètres sur 22 (4 pouces 3/4 sur 8) de long ; ses bords sont relevés d'environ 14 millimètres (6 lignes) ; il doit entrer et sortir librement ; on lui adapte une anse ou queue pour la saisir. La boîte sert à garantir le verre en fusion des corps cinérés ; de plus, elle concentre la chaleur. L'intervalle qui existe entre la voûte et le plateau laisse voir l'état du verre pendant l'opération.

« Je taille autant de morceaux de verre circulaires que je désire fondre de lentilles. Le diamètre de chaque morceau est relatif à l'épaisseur du verre et à la grandeur des yeux que j'ai l'intention de faire. Pour tailler le verre, je trouve plus expéditif d'appuyer le morceau que je veux arrondir sur un corps solide et anguleux ; puis, à l'aide d'un marteau, dont je ménage les coups, je brise tout autour les saillies qui bordent la circonférence ; pour les grosses espèces, on pourrait employer le grugeoir des vitriers. Le meilleur verre est la glace, qui présente une teinte verte dans sa cassure ; à défaut de celle-ci, les cristaux et le verre à vitres ; toutefois, il convient d'éviter, autant que possible, de réunir plusieurs qualités de verre dans la même fonte, afin que la fusion s'opère uniformément.

» Ainsi façonnés, je place ces verres sur le plateau, en observant assez de distance entre eux pour prévenir leur agglomération ; et, comme ils pourraient adhérer au plateau, ou lui enlever un oxyde qui troublerait leur transparence, il est indispensable d'enduire celui-ci d'une couche de blanc de céruse délayé. Il est nécessaire aussi de dessécher cette couche à l'aide d'une chaleur légère. A la céruse on pourrait substituer le tripoli, ou un lit de sable fin. Le plateau dont j'ai fait mention plus haut peut contenir quarante paires de lentilles assorties. Je place horizontalement la boîte sur un foyer, en sorte qu'elle puisse être entourée d'assez de charbon pour éprouver une forte chaleur. Le feu étant allumé, je glisse légèrement le plateau dans la boîte, en conservant l'arrangement des verres.

» La fusion commence par leur circonférence, qui s'affaisse et s'arrondit ; alors les inégalités résultant de la cassure disparaissent, la face supérieure se bombe, la face inférieure se moule sur le plan où elle repose. Aussitôt que le verre est fondu, on retire le plateau, qu'on peut successivement remplacer par plusieurs autres. Ce moyen, plus expéditif, est aussi plus économique.

» 2° Les lentilles, ainsi fondues, ont, pour la plupart, besoin d'être usées sur leur face plate, ce qui se pratique en les frottant sur un grès uni et humecté, jusqu'à ce qu'elles soient réduites à un segment de sphère, figurant la chambre antérieure de l'œil, coupée perpendiculairement à l'iris. Pour abréger cette opération, on repliera une lame de fer-blanc, ou une feuille de carton, de manière à former un moule ressemblant à un rouleau de serviette. Son diamètre sera proportionné à l'étendue de la surface du grès. Pour s'en servir, on l'appliquera sur un plan uni, comme par exemple une table de marbre ou le dessus d'une assiette. On placera sur ce même plan, dans l'intérieur du moule, une couche de lentilles reposant sur leur face plate; on coulera en suite par-dessus un mélange de poix et de plâtre, ou tout autre mastic susceptible de former une masse solide en se durcissant, et capable de retenir assez fortement les lentilles pendant qu'on les use toutes à la fois. Le frottement du verre sur le grès le rend opaque ; il suffit de le repolir pour rétablir sa di p':anéité; à cet effet, on frottera les lentilles usées sur un morceau de planche saupoudré de pierre ponce porphyrisée, ou de potée d'étain en usage chez les vitriers et miroitiers. Pour terminer, on les passera sur un morceau de feutre de chapeau.

» 3° Pour peindre la pupille de l'iris, les personnes habituées à manier le pinceau suivront leur goût; celles qui sont étrangères à cet art, pourront peindre la face plate uniformément de la couleur iridaire; ensuite, elles enlèveront au centre un cercle de cette même couleur, grand et configuré comme la pupille; puis elles le remplaceront par la couleur noire, et *vice versa*, si l'on peignait d'abord tout en noir. Je prends avec une brucelle la lentille que je veux peindre; je présente la face convexe à une glace placée devant moi ; par conséquent, la face plate est tournée de mon côté. Je dépose au centre de cette face une goutte de peinture noire que j'étends jusqu'à ce que je sois parvenu aux dimensions de la pupille que je veux exprimer; la glace m'indique quand je suis parvenu à ce point. La pupille étant sèche, je colore l'iris. Les couleurs employées devront toujours être broyées à l'huile de lin recuite, comme étant plus siccative. Elles seront assez consistantes pour ne pas trop s'étendre en se desséchant. »

Voici comment on procède maintenant à la fabrication des yeux artificiels :

La préparation des yeux d'animaux se fait au moyen d'émaux aux couleurs les plus variées, dont la composition doit être telle qu'ils aient tous le même coefficient de dilatation.

On commence par former à la lampe d'émailleur un verre de couleur convenable, une sorte de lentille devant former la cornée, sur laquelle on soude les émaux destinés à former l'iris, puis la pupille; le tout est ensuite recouvert d'un cristal très blanc donnant à l'œil sa grosseur définitive.

Les yeux qu'on fabrique ainsi sont aussi variés de couleur que de dimension; ils sont généralement recuits.

La fabrication de ces produits spéciaux se fait principalement à Paris et donne lieu à un commerce important : ces yeux servent non seulement à la naturalisation, mais encore pour des jouets, des poupées et des objets de mode.

Les yeux servant à la prothèse oculaire humaine doivent être fabriqués par des spécialistes avec des soins tout particuliers; pour ne pas fatiguer celui

qui les porte, ils doivent être aussi légers que possible et fabriqués en verre peu altérable, les liquides sécrétés dont ils sont baignés ayant une tendance à en altérer la surface et à la dépolir. Pour les obtenir, on commence par faire, à la lampe d'émailleur, une coque en émail de la forme de l'œil à imiter et d'une épaisseur analogue à celle d'une coque d'œuf; sur cette coque on rapporte après coup des émaux de couleur destinés à former l'iris et la pupille.

Ces objets, fabriqués avec grand soin, sont d'une imitation parfaite; ils sont toujours d'un prix relativement élevé.

VERRES DURS A BASE D'ALUMINE

Les verres durs à base d'alumine peuvent être employés avec avantage pour imiter les pierres précieuses. M. Feil a obtenu des verres très durs, à base d'alumine, de magnésie et de chaux; ces verres peuvent se colorer et se tailler ensuite de manière à être employés comme pierres précieuses artificielles.

MM. Fremy et Feil ont fait connaître à l'Académie des sciences, en 1877, les procédés qu'ils emploient pour produire de l'alumine différemment colorée et cristallisée, c'est-à-dire du rubis et du saphir, en masses suffisantes pour être employées dans l'horlogerie et pour se prêter à la taille des lapidaires.

Les méthodes que nous allons décrire pourront probablement s'appliquer à la production artificielle d'autres minéraux; sous ce rapport elle nous paraissent présenter un véritable intérêt scientifique.

Voulant se rapprocher autant que possible des conditions naturelles qui ont déterminé la formation du corindon, du rubis et du saphir, ces messieurs ont emprunté à l'industrie ses appareils calorifiques les plus énergiques, qui permettent de produire une température élevée, de la prolonger pendant longtemps et d'opérer sur des masses considérables ; en effet, ils ont agi souvent sur 20 ou 30 kilogrammes de matières chauffées, sans interruption, pendant vingt jours.

« C'est dans le four de l'usine Feil qu'ont été disposées les expériences qui exigeaient la plus haute température. Lorsque ces essais demandaient une calcination prolongée et une assez forte quantité de matières, on avait recours à un four à glaces de Saint-Gobain et dans ce cas ces essais étaient dirigés par M. Henrivaux.

» La méthode qui a permis à MM. Fremy et Feil de produire la plus grande quantité d'alumine cristallisée est la suivante:

» On commence par former un aluminate fusible et on le chauffe ensuite au rouge vif avec une substance siliceuse; dans ce cas l'alumine se trouve dégagée lentement de sa combinaison saline en présence d'un fondant et cristallise.

» Nous attribuons la cristallisation de l'alumine à différentes causes: soit à la volatilisation de la base qui est unie à l'alumine, soit à la réduction de cette base par les gaz du fourneau, soit à la formation d'un silicate fusible qui, par la combinaison de la silice avec la base, isole l'alumine, soit enfin à un phénomène de liquidation qui produit un silicate très fusible et de l'alumine

peu fusible : tous ces cas se sont présentés dans ces essais; mais le déplacement de l'alumine par la silice paraît être le procédé le plus sûr pour opérer la cristallisation de l'alumine.

» Plusieurs aluminates fusibles se prêtent à ces différents genres de décomposition; celui qui, jusqu'à présent, a donné les résultats les plus nets est l'aluminate de plomb.

» Lorsqu'on place dans un creuset de terre réfractaire un mélange de poids égaux d'alumine et de minium, et qu'on le calcine au rouge vif pendant un temps suffisant, on trouve dans le creuset, après son refroidissement, deux couches différentes : l'une est vitreuse et formée principalement de silicate de plomb, l'autre est cristalline, elle présente souvent des géodes remplies de beaux cristaux d'alumine.

» Dans cette opération les parois du creuset agissent par la silice qu'elles contiennent; elles sont toujours amincies et souvent percées par l'action de l'oxyde de plomb : aussi, pour éviter la perte du produit, on opère ordinairement dans un double creuset.

» L'expérience qui vient d'être décrite donne des cristaux blancs de corindon : lorsque l'on veut obtenir des cristaux qui présentent la couleur rose du rubis, on ajoute au mélange d'alumine et de minium 2 à 3 pour 100 de bichromate de potasse.

» On produit la coloration bleue du saphir en employant une petite quantité d'oxyde de cobalt mélangé à une trace de bichromate de potasse.

» Les cristaux de rubis ainsi obtenus sont ordinairement recouverts de silicate de plomb que l'on enlève de différentes façons, soit par l'action de l'oxyde de plomb fondu, soit par l'acide fluorhydrique, soit par la potasse en fusion, soit par une calcination prolongée dans l'hydrogène, et ensuite par l'action des alcalis et des acides; mais, dans certains cas, on trouve, dans les géodes, des cristaux qui sont presque purs et qui présentent alors tous les caractères des corindons et des rubis naturels; ils en ont la composition, l'éclat adamantin, la dureté, la densité et la forme cristalline.

» Ces rubis, en effet, rayent le quartz et la topaze; leur densité est de 4,0 à 4,1 : ils perdent, comme les rubis naturels, leur coloration rose lorsqu'ils sont fortement chauffés et la reprennent par le refroidissement : soumis à des lapidaires, ils ont été trouvés aussi durs que les rubis naturels, et souvent même plus durs: ils usent très rapidement les meilleures meules d'acier trempé; ces rubis, qui ont la forme de prismes hexagonaux, offrent dans leur intérieur une croix noire et des anneaux colorés sur les bords.

» Voici la méthode qui a permis à MM. Fremy et Feil de produire les beaux échantillons de silicates cristallisés que ces messieurs ont mis sous les yeux de l'Académie; les expériences qui suivent se lient aux précédentes, car elles ont donné souvent des cristaux de corindon à côté des silicates cristallisés.

» C'est au moyen des fluorures que ces messieurs ont produit les corps cristallisés, dont il reste à parler. Soumettant à une température rouge, pendant plusieurs heures, un mélange à poids égaux de silice et de fluorure d'aluminium on a constaté que, par la réaction mutuelle des deux corps, il se dégage du fluorure de silicium et l'on obtient un corps cristallisé qui paraît être du *dysthène*, c'est-à-dire du silicate d'alumine.

» Ce corps se présente en cristaux aciculaires biréfringents, qui éteignent la lumière obliquement par rapport à leurs arêtes; ils appartiennent sans doute à l'un des systèmes obliques : au prisme oblique à base rhombe ou au prisme doublement oblique. Ces cristaux ont offert la composition suivante:

Silice	47,66
Alumine	51,85
Perte	0,50

Cette composition se rapproche de celle du dysthène naturel.

» L'action du fluorure d'aluminium sur l'acide borique a donné un borate d'alumine cristallisé, qui correspond au dysthène.

» Nous exécutons une série d'essais dans lesquels le fluorure d'aluminium agira sur d'autres acides minéraux.

» Le fait important de la volatilité du fluorure d'aluminium, découvert par M. Henri Sainte-Claire Deville, a permis d'expliquer facilement les expériences suivantes :

» Lorsqu'on chauffe, à une température très élevée et pendant longtemps, un mélange à poids égaux d'alumine et de fluorure de baryum, dans lequel on a introduit deux ou trois centièmes de bichromate de potasse, on obtient une masse cristallisée, dont l'étude présente le plus grand intérêt.

» Si la calcination a été opérée dans un creuset recouvert d'un autre qui sert en quelque sorte de condensateur, on trouve dans les creusets deux sortes de cristaux : les uns, qui semblent s'être volatilisés, sont de longs prismes incolores qui ont souvent plusieurs centimètres de longueur et qui présentent l'aspect de fleurs argentines d'antimoine; les autres sont des cristaux de rubis, remarquables par la régularité de leurs formes et leur belle coloration rose.

» Les longs cristaux prismatiques et incolores sont formés par un silicate double de baryte et d'alumine, qui présente cette composition :

Silice	34,32
Baryte	35,04
Alumine	30,37

» Dans ces essais, ce silicate double est venu souvent cristalliser en prismes clinorhombiques assez courts, durs et transparents, qui ont la même composition que les longues aiguilles prismatiques et creuses.

» Ces longs prismes sont constitués souvent par quatre lames à faces parallèles formant les faces d'un prisme creux ; ces lames sont minces, elles éteignent la lumière sous le microscope, ou plutôt elles laissent persister l'obscurité entre deux Nicols, parallèlement à leurs intersections mutuelles; le plan des axes optiques est parallèle à ces intersections, elles se coupent sous des angles de 60° 42′ et 119° 18′.

» Il s'est donc produit, dans cette réaction curieuse, du corindon et un silicate double cristallisé ; ces deux substances cristallines résultent des transformations suivantes :

» Dans la calcination du mélange d'alumine et de fluorure de baryum, il s'est formé évidemment du fluorure d'aluminium et de la baryte.

» Le fluorure d'aluminium, une fois produit, a dû agir de deux façons différentes.

» Décomposé par les gaz du foyer, il a formé de l'acide fluorhydrique et du corindon qui a cristallisé sous l'influence des vapeurs.

» Agissant en outre sur la silice du creuset, il a donné naissance à du silicate d'alumine qui, en s'unissant à la baryte, a produit les beaux cristaux de silicate double d'alumine et de baryte que nous présentons à l'Académie.

» Telle est, selon nous, la théorie de la réaction.

» Qu'il nous soit permis actuellement d'insister ici sur les conditions qui ont déterminé la cristallisation des deux corps, celle du corindon et du silicate double.

» En jetant les yeux sur les échantillons de ces produits qui présentent des cristaux si nets, on est frappé de la place qu'ils occupent dans les creusets ; ils semblent s'être volatilisés, et cependant, en les exposant aux températures les plus élevées de nos foyers, on a reconnu qu'ils sont absolument fixes.

» C'est que les fluorures ne sont pas seulement des minéralisateurs puissants, ce sont aussi des composés qui donnent, comme on le disait autrefois, des ailes aux corps les plus fixes. Ne se rappelle-t-on pas, en effet, cette formation si remarquable du feldspath orthose produit artificiellement et trouvé dans la partie supérieure d'un fourneau à cuivre du Mansfeld ? L'emploi du fluorure de calcium dans le lit de fusion du fourneau qui a produit ce feldspath permet de croire que le fluor est intervenu, dans ce cas, comme agent de transport.

» C'est ce fait qui s'est présenté évidemment dans ces expériences, comme dans celles qui ont été exécutées si souvent par M. H. Sainte-Claire Deville ; les agents de transport et de cristallisation du corindon et du silicate double sont également les composés fluorés que nous avons employés.

» Il était à présumer que cette action du fluorure de baryum sur l'alumine, en présence de la silice, qui forme un silicate double cristallisé, rentrerait dans un phénomène général se rapportant à la décomposition des fluorures par différentes bases. C'est en effet ce que l'on a constaté. »

Pâte de verre. — On sait que les anciens tiraient du verre des effets surprenants, qu'ils parvenaient à le modeler à froid comme de l'argile, que certaines de leurs pièces exhalaient une odeur délicieuse qui leur était propre, et que certaines autres possédaient la malléabilité des métaux; elles se bossuaient quand on les jetait à terre, et pouvaient ensuite être redressées au marteau sans jamais se briser.

Des légendes se sont même formées à ce sujet.

Pétrone raconte que l'empereur Tibère fit trancher la tête d'un artisan qui possédait le secret de la pâte de verre, « dans la crainte que, si le secret venait à être connu, on ne fasse pas plus de cas de l'or que de la boue ».

Suivant plusieurs auteurs, une découverte analogue aurait été faite au dix-septième siècle.

D'après Haudicquer de Blancourt, l'ouvrier qui présenta à Richelieu une pièce en verre malléable aurait, au lieu de la fortune qu'il espérait se faire par ce rare et important travail, trouvé la prison perpétuelle.

Cette pâte de verre vient d'être découverte par un artiste de premier ordre, doublé d'un savant, le statuaire Henri Cros.

Il a composé une pâte de verre dans laquelle on peut enfoncer impunément des clous, comme dans du plomb, sans l'écailler ni l'altérer d'aucune fissure.

Les premières pièces, exposées au Salon de 1891, présentaient certains défauts d'exécution dus aux tâtonnements qui précèdent toute découverte; mais aujourd'hui l'artiste est maître de son procédé et, grâce au concours de l'État, qui a mis un four et un atelier de la manufacture de Sèvres à sa disposition, il vient de composer une pièce (fontaine murale dont les divers sujets représentent l'histoire de l'eau) dont toutes les parties sont parfaites à tous les points de vue.

EXAMEN DES DÉFAUTS DU VERRE.

Nous avons exposé rapidement, dans le cours de cet ouvrage, les modifications et perfectionnements apportés, dans ces dernières années, au travail du verre.

Nous avons vu qu'en ce qui concerne la fabrication proprement dite, les efforts se sont surtout portés sur les moyens de tirer le meilleur parti possible du combustible. De l'utilisation plus ou moins parfaite du combustible dépend en effet, en grande partie, l'importance du prix de revient. Un autre élément qui a également son importance est, sans contredit, la qualité, le choix du verre.

Aussi croyons-nous devoir terminer ce travail par l'exposé d'une méthode d'investigation sur les défauts du verre, persuadés d'ailleurs que bien connaître les défauts, les bien caractériser, c'est presque connaître le moyen de les éviter.

Les défauts qui se produisent dans le verre au cours de sa fabrication résultent de causes très variées; aussi, comprend-on qu'ils soient de nature différente.

Ces défauts, qui altèrent la qualité du verre en en diminuant la valeur, peuvent, par la composition des corps qui les constituent, par leur importance et par leur nombre, causer dans certaines circonstances un trouble grave dans l'économie de toute une fabrication.

Malgré l'expérience que peuvent avoir acquise, par une longue pratique, les industriels chez lesquels ces accidents viennent à se produire, il leur est souvent difficile de se rendre compte d'une façon exacte de la nature et de la composition des corps qui constituent ces défauts et par suite des causes qui les ont engendrés; ils se trouvent par suite dans l'impossibilité d'y apporter rapidement un remède efficace.

Ayant été consultés souvent au sujet d'accidents de ce genre s'étant produits dans la fabrication des verres à vitres, des verres à bouteilles, des verres de gobeleterie, nous avons dû chercher les moyens qui nous permettraient de déterminer la nature des défauts qui en sont la conséquence d'une façon certaine; c'est le résultat de ces recherches et les moyens employés pour y arriver que nous avons l'intention de faire connaître.

Les défauts qui se produisent dans le verre au moment où il est fabriqué et mis en œuvre sont :

1° Les bouillons, les points, les crachats;

2° Les pierres et les grains ou granulations.

Les premiers, qui proviennent d'un affinage incomplet de la matière vitreuse après sa fusion, ou d'un manque de soin de la part des ouvriers au moment du cueillage ou pendant le moulage, en emprisonnant dans la masse du verre des corps ou poussières organiques, sont faciles à reconnaître; il suffit en effet le plus souvent d'une inspection attentive à l'œil nu ou au besoin avec la loupe pour être fixé sur leur nature.

Les seconds, de composition très variable, tout en se ressemblant beaucoup, peuvent être causés ou par un mélange imparfait des matières premières ou par des agglomérations de parties du mélange vitrifiable ayant échappé à la fusion : ce sont les *infondus;* ou par des portions des parois du creuset ou du bassin qui se sont détachées pendant la fusion et pour lesquelles la température et la durée du séjour dans le four n'ont pas été suffisantes pour en opérer la combinaison : ce sont les *grains de pot ou de bassin.*

Des portions de la voûte ou de la couronne du four peuvent encore, en se combinant avec la partie alcaline et vaporisable du mélange vitrifiable, donner lieu à la formation d'un verre de nature spéciale plus dur que le verre contenu dans le creuset et qui s'y incorpore sans s'y dissoudre. On donne à ce genre de défauts le nom de *larmes ou schlagues.*

Enfin les grains ou granulations peuvent provenir du verre lui-même et être amenés par sa composition chimique en même temps que par les conditions de température dans lesquelles il s'est trouvé aux diverses phases de sa fabrication.

Les verres, en effet, à une température inférieure à celle qui a été nécessaire pour en opérer la fusion, cette température étant maintenue pendant un temps suffisant, peuvent être soumis à une décomposition qui se manifeste par la formation de composés cristallisés qui en altèrent la pureté, la limpidité et la résistance.

Cette décomposition commence toujours par la formation de cristaux microscopiques qu'on ne découvre souvent que quand l'objet est terminé.

Dans tous les cas, la ténuité des grains dont il s'agit de déterminer la nature en rend la recherche très délicate : l'analyse chimique est, en effet, impuissante par suite de la difficulté qu'on éprouve à les séparer de la masse vitreuse qui les entoure; quand ils sont nombreux, ces grains ou cristaux, agglomérés les uns avec les autres, semblent tellement prédominants dans une masse limitée de verre que l'analyse de cette portion cristalline paraît devoir en donner au moins approximativement la composition; mais, généralement, la matière vitreuse qui leur est intimement associée est tellement abondante que leur composition se trouve masquée par celle du verre, qui leur sert de ciment.

Ils sont d'ailleurs trop petits pour être extraits par une opération mécanique; leur poids spécifique est peu différent de celui du verre ambiant, ce qui exclut l'emploi des liqueurs denses, telles que l'iodo-mercurate de potasse

ou le tungsto-borate de baryum ou de calcium ou enfin de l'iodure de métylène, dont M. Fouqué, le savant professeur au Collège de France, a imaginé l'emploi et a été le premier à se servir pour l'étude des roches cristallisées.

Ils ne sont pas attirables à l'aimant, et l'acide fluorhydrique les attaque en même temps que le verre lui-même. Bref, tous les moyens usités ordinairement dans l'étude des roches échouent pour la séparation des corps étrangers ou des cristaux incorporés dans les verres, et le seul moyen d'investigation qui puisse être employé dans ce cas est le microscope.

MM. Fouqué et Michel Lévy ont décrit dans leur ouvrage de *Minéralogie micrographique*, justement réputé et dont l'éloge n'est plus à faire, les méthodes et les moyens basés en grande partie sur l'emploi du microscope et appliqués à l'étude des principaux minéraux et roches éruptives de la France; ce sont ces procédés que j'ai cherché à utiliser.

L'examen des matières à étudier se fait sur des lames minces d'une épaisseur de $\frac{3}{100}$ de millimètres taillés dans la masse vitreuse qui les englobe; ces lames minces sont collées au moyen de baume de Canada sur une lame de verre et posées sur le porte-objet du microscope.

Ce mode d'examen, employé pour la première fois par M. Sorby, minéralogiste anglais, et successivement par M. Zirkel, de Heidelberg, et par M. Rosenbach, de Leipzig, a été perfectionné encore par MM. Fouqué et Michel Lévy.

Pour déterminer la nature des cristaux, on emploie plusieurs moyens d'investigation venant se compléter les uns les autres.

Grâce à la perfection des appareils dont on dispose, on peut facilement et rapidement les examiner en lumière naturelle, puis en lumière polarisée entre deux nicols en spath d'Islande croisés, ces rayons de lumière étant parallèles.

La détermination des axes optiques est complétée par celle des angles d'extinction des cristaux, en les observant en lumière polarisée et en rayons convergents successivement dans des préparations faites en coupe longitudinale et en coupe transversale.

De l'examen auquel nous nous sommes livrés, il résulte que le corps que l'on rencontre le plus fréquemment est le quartz; c'est un corps cristallisé dont la détermination se fait facilement; on constate très aisément qu'on a affaire à un minéral, à un axe positif et, en outre, la biréfringence peut être mesurée avec facilité.

Il se rencontre dans les parties infondues et provient, comme je l'ai dit plus haut, d'un mélange imparfait des matières vitrifiables ou d'une sorte de liquation produite au moment de la fusion du verre dans un vaisseau chauffé à trop basse température.

Quand il provient de la séparation d'un fragment du bassin ou de la voûte, il se trouve enrobé dans une matière amorphe grisâtre, diffusant fortement la lumière et se distinguant surtout au microscope en lumière réfléchie; cette matière n'est autre qu'un silicate d'alumine déshydraté non dissous dans la masse vitreuse (fig. 9. Voir planche XXXII).

Il peut se faire que, si l'argile vient à se dissoudre, il se forme un feldspath cristallisé analogue à celui qu'on trouve dans la nature.

La présence du quartz dans ces deux cas donne beaucoup de ressemblance à ces défauts, et c'est à la présence simultanée de la matière amorphe grisâtre provenant de l'argile qu'on peut en déterminer l'origine.

Toutefois la silice à l'état de quartz n'est pas un accompagnement obligé de l'argile; on rencontre quelquefois des pierres qui ne contiennent que du silicate d'alumine déshydraté, sur l'origine duquel il n'y a aucun doute à avoir.

Ce cas se rencontre surtout dans les défauts ayant la forme de grains qu'on trouve dans le cristal et le demi-cristal, fabrication dans laquelle le quartz est cependant exclu des terres servant à confectionner les creusets. Ceux-ci se perceraient rapidement, en effet, sous l'action de l'oxyde de plomb.

La présence du quartz à l'état de grains non dissous dans le verre amène d'une façon infaillible la fêlure d'abord et la rupture ultérieure de la pièce dans laquelle il est incorporé.

Quand il est allié à de l'argile ou quand l'argile est seule, la rupture de la pièce est moins certaine, le coefficient de dilatation de l'argile étant sensiblement le même que celui du verre.

Ce dernier défaut est celui qu'on rencontre le plus fréquemment dans les fours à bassins employés presque exclusivement pour la fabrication des verres à vitres et des bouteilles; il provient de l'attaque des parois à la hauteur de la flottaison.

Si ce sont des corps cristallisés auxquels on a affaire, leur composition chimique dépend essentiellement de celle du verre lui-même.

Quand le verre est uniquement sodique et calcique, c'est de la *wollastonite* qui se produit.

Quand le verre est magnésien et ferrugineux, c'est un pyroxène magnésien de la formule du diopside qui se forme.

Si le verre contient de l'alumine en même temps que de la potasse, de l'oxyde de fer et de la magnésie, c'est de la *mélilite* à la variété artificielle de laquelle on donne le nom de *Humboldtilite*.

Enfin dans certains cas particuliers plus rares, on voit se développer des cristaux de *feldspaths*, de la variété connue sous le nom d'oligoclase et de labrador.

Dans tous les cas, surtout en même temps que la humboldtilite, on voit se produire un minéral réfringent et très biréfringent, en longues aiguilles prismatiques très étroites dont la détermination minéralogique n'a pu encore être faite rigoureusement.

Parmi les minéraux précités, la *wollastonite* est celui que l'on rencontre le plus communément dans les verres. C'est un bisilicate de chaux (CaO, SiO^2) appartenant à la famille des pyroxènes; elle cristallise dans le système monoclinique, les cristaux sont allongés parallèlement à l'orthodiagonale; dans les verres, elle forme de longues aiguilles prismatiques très étroites qui ont quelquefois plusieurs centimètres de longueur, mais dont la largeur dépasse rarement 5 millimètres et l'épaisseur 1 millimètre; elle est incolore et

transparente; cependant elle se distingue déjà en lumière naturelle au microscope à cause de sa réfringence, voisine de 1,63, et très légèrement supérieure à celle du verre ambiant.

Quand on l'observe en lumière polarisée parallèle entre les nicols croisés, on constate les faits suivants :

Les sections longitudinales polarisent dans des teintes qui varient du bleu grisâtre au jaune pâle; toutes s'éteignent rigoureusement en long; le signe d'allongement n'est pas constant, la plupart de ces sections présentent un allongement de signe positif, les autres qui sont en général les moins brillantes présentent un allongement de signe négatif.

Les sections transversales sont courtes et très étroites, tout en demeurant encore légèrement allongées.

Entre les nicols croisés, elles se colorent de teintes d'un rose violacé, elles s'éteignent obliquement sous des angles dont nous donnons ci-après la valeur.

Ces propriétés suffisent pour montrer que, comme la wollastonite naturelle, les cristaux en question appartiennent au système monoclinique et que le plan des axes optiques est perpendiculaire à la direction d'allongement.

Les observations en lumière convergente confirment ces données de l'observation en lumière parallèle : on s'assure, en effet, que le plan des axes optiques est parallèle aux sections transversales, que la bissectrice aiguë est assez rapprochée de la normale aux sections longitudinales dont l'allongement est de signe négatif et la bissectrice obtuse peu éloignée de la normale aux sections longitudinales dont l'allongement est de signe positif; dans les deux cas on observe, d'ailleurs, des images symétriques par rapport à la direction d'allongement; on constate en même temps que la bissectrice est négative et que l'écartement des axes est d'environ 40 degrés.

Un essai chimique confirme encore la détermination des cristaux en question, comme wollastonite.

En effet, si, après avoir découvert une préparation et l'avoir nettoyée à la benzine, on la laisse séjourner vingt-quatre heures à froid dans l'acide chlorhydrique, on s'assure aisément que les cristaux sont attaqués, tandis que le verre ambiant est inaltéré.

La préparation lavée à l'eau distillée donne un liquide où l'oxalate d'ammoniaque décèle la présence de la chaux, et la préparation elle-même traitée par une goutte de solution de violet d'aniline se teint dans tous les points où l'attaque a mis en liberté de la silice gélatineuse.

La wollastonite développée dans le verre par un phénomène de dévitrification offre une grande tendance à se disposer sous forme radiée; les figures 1, 2, 3, 4, 5, qui représentent des sections de dévitrifications à wollastonite vues en lumière polarisée entre les nicols croisés portent toute l'indication de cette tendance.

Il arrive même que la wollastonite forme dans le verre des sphérolithes dont le volume peut atteindre la grosseur du poing.

Les figures 1 et 2 représentent : la première, une portion de section

radiale; la seconde, une portion de section tangentielle d'un module de 6 centimètres de diamètre.

La figure 14 représente, en grandeur naturelle, une masse vitreuse contenant un grand nombre de petits sphérotithes de wollastonite.

La wallastonite se montre dans certaines dévitrifications accompagnée d'un pyroxène jaune verdâtre qui, vu en lame mince, est à peine nuancé d'une légère teinte jaune; il possède toutes les propriétés du diopside des roches naturelles; la réfringence et la biréfringence sont celles que l'on attribue d'ordinaire au diopside.

Ce pyroxène se présente également sans accompagnement de wallastonite: dans ce cas, le verre dévitrifié présente généralement une couleur verte plus ou moins foncée et grisâtre.

Les figures 8 et 10 représentent des dévitrifications caractérisées par le développement des diopsides.

La figure 9 représente une dévitrification dans laquelle le diopside et la wollastonite figurent à peu près en égales proportions.

La mélilite (humboldtilite) se montre soit en groupements irréguliers, soit sous forme de sphérolithes, soit en amas cristallitiques. Les figures 12 et 13 représentent deux types de ces associations de cristallites de humboldtilite. On y voit les éléments formés par ce minéral disposés en rangées alignées dans deux directions à angle droit.

Les sphérolithes sont composés de petits cristaux allongés parallèment à la base (001) et disposés tangentiellement autour d'un centre.

La figure 11 donne une idée de l'un de ces groupements vu au microscope en lumière parallèle entre les nicols croisés. Les petits cristaux en section rectangulaire ont environ 5 millimètres de longueur sur 2 millimètres de largeur. Ils présentent un clivage net et régulier parallèlement à la base. Ils polarisent dans les teintes blanc grisâtre. Le signe de leur allongement est positif. Si le sphérolithe était parfaitement régulier, il présenterait une croix noire, mais, suivant certains plans diamétraux, il offre des plis, des inflexions brusques d'où résultent des bandes noires nouvelles. Les petits éléments du sphérolithe possèdent trausversalement des canelures caractéristiques. Enfin. quelques-uns d'entre eux, par suite d'irrégularités accidentelles dans la constitution du sphérolithe, se montrent suivant la base *p* (001) et demeurent éteint dans toutes les positions.

A cause de la petitesse des éléments on ne voit qu'imparfaitement en lumière convergente la croix noire qu'ils laissent cependant apercevoir.

Tous ces caractères ne laissent aucun doute sur la détermination du minéral.

On peut, du reste, dans la plupart des cas, constater son attaque aux acides et vérifier au moins qualitativement sa composition.

De même que la wollastonite et le diopside, la humboldtilite présente fréquemment de très beaux exemples d'inclusions vitreuses à bulle.

Nous rattachèrons à la famille des feldspaths certains cristaux dont nous avons trouvé des spécimens dans des petites plages arrondies provenant de dévitrifications. Les sections observées du minéral en question ont environ

8 millimètres de longueur et 5 millimètres de largeur; leur forme est rectangulaire; leur allongement est de signe négatif; c'est un minéral à deux axes écartés; le plan des axes optiques est parallèle à la direction d'allongement. La réfringence et la biréfringence sont celles des feldspaths acides. Les extinctions se font dans un angle très petit (environ 2 à 3 degrés). On observe une macle binaire ressemblant beaucoup à la macle de Karlsbad. Quand on dispose la section de manière à ce que la la direction d'allongement fasse un angle notable avec les sections des nicols croisés, on aperçoit des bandes étroites discontinues ressemblant à celles de certains feldspaths tricliniques naturels et en particulier à celles de l'anorthose, mais il est difficile, à cause de la petitesse à l'angle d'extinction, de dire si l'on a affaire à un minéral maclé suivant la loi de l'albite ou à un prisme cannelé. Les essais chimiques étaient impraticables sur les échantillons que nous avons eu à examiner. C'est donc avec un certain doute que nous rapportons ces cristaux à un minéral de la famille des feldspaths, bien que toutes les propriétés observées s'accordent avec celles de ces minéraux.

Comme dans les éléments de dévitrifications ci-dessus étudiés, ces derniers produits cristallisés renferment de belles inclusions vitreuses à bulles qui affectent généralement la forme de leur hôte.

De l'étude dont nous venons de donner le résultat, on peut déduire quelques conséquences utiles au point de vue de la composition des verres et des qualités qu'il est possible de leur donner suivant les usages auxquels ils sont destinés.

Il en ressort en effet que le phénomène de la dévitrification sur lequel les opinions ont été longtemps partagées, s'explique naturellement par la formation dans la masse vitreuse colloïde, de silicates cristallisés, simples ou multiples, de composition différente de celle du verre qui leur a donné naissance, et que de plus ces silicates dont la présence est une cause de dépréciation du verre, dont ils altèrent la limpidité et la résistance en en augmentant la fragilité et dont il faut par suite chercher à éviter la formation, se produisent à des températures différentes pour chacun d'eux suivant leur composition chimique, cette température étant en tout cas, inférieure à celle à laquelle la fusion du mélange et la combinaison des éléments vitrifiables se sont opérées.

La chaux étant la base terreuse la plus employée par suite de son abondance dans la nature, du bon marché auquel elle peut être obtenue à l'état de pureté et des qualités qu'elle donne au verre quand elle est alliée à la potasse ou à la soude, il est naturel de chercher à en augmenter la proportion le plus possible. On est arrêté dans cette voie par le phénomène de la dévitrification et la formation de wollastonite qui se produisent d'autant plus facilement que la proportion de chaux est plus grande, à une température relativement élevée, très voisine de celle requise pour le travail du verre en objets façonnés.

La magnésie est dans le même cas, et son addition à la chaux préexistante ne fait qu'accentuer ce phénomène en donnant lieu à la formation de diopside d'une part, et de wollastonite d'autre part.

Cette observation est conforme à celle de Péligot, qui avait été amené, par l'analyse de cristaux provenant des dévitrifications du verre de Blanzy et par l'étude cristallographique faite par M. des Cloiseaux, à penser que la magnésie même jouait un rôle prépondérant dans ce phénomène. Il n'en est pas de même de l'alumine qui, en venant s'ajouter aux bases précédentes, est susceptible de donner ou des feldspaths ou des cristaux de la famille des mélilites dont la formation est beaucoup plus difficile.

Même en opérant aux températures convenables, les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy constatent que la cristallisation du feldspath ne se fait qu'avec une grande lenteur, et quant au mélilite, sa formation implique à la fois la présence dans le verre de la potasse, de l'alumine, de la magnésie et du fer en proportion notable, conditions qui se trouvent bien plus souvent réalisées dans les matières vitreuses des hauts fourneaux que dans les produits des verreries.

La première raison est, à notre avis, celle de la grande stabilité des verres alumineux qui peuvent être travaillés indéfiniment sans donner de cristallisation, quoique la somme des bases terreuses soit souvent supérieure à la quantité de chaux qui, dans un verre unique, serait suffisante pour amener rapidement la dévitrification.

La présence dans un verre de certaines bases, alumine et potasse, a pour résultat de diminuer la faculté qu'a ce verre de se dévitrifier, puisque les silicates d'alumine et de potasse sont relativement peu fusibles et surtout difficilement cristallisables; il semble que les verriers devraient s'attacher à produire les verres réalisant ces conditions, d'autant plus qu'il en résulterait pour eux une économie notable d'argent, l'alumine étant un produit d'une valeur infiniment moindre que les alcalis proprement dits : potasse et soude.

En tout cas l'introduction de l'alumine présente des avantages comme moyen d'empêcher la dévitrification, car les feldspaths et les mélilites, silicates alumineux sont moins fusibles que les minéraux du groupe des pyroxènes, silicates non alumineux. Il serait très facile aux verriers de se procurer à bas prix des calcaires argileux d'une composition telle qu'il leur suffirait d'ajouter du sable et un peu de base alcaline pour obtenir des verres stables.

Certains verriers ont pu, par l'emploi de feldspaths naturels de composition convenable, introduire en même temps que l'alumine les bases alcalines, potasse et soude indispensables, réalisant ainsi les meilleures conditions de résistance et d'économie.

Si dans la fabrication du verre à bouteilles pour lesquelles les qualités recherchées et exigées sont la solidité et l'inaltérabilité sous l'action des liquides acidulés, on peut employer des matières impures donnant une composition à bases multiples de proportions non constantes, il n'en est plus de même dans la fabrication des verres qui, outre ces qualités primordiales, doivent posséder d'autres qualités, entre autres celle d'être parfaitement incolores. C'est le cas des verres pour la lunetterie et l'optique.

L'examen que nous venons de faire des produits de la dévitrification du

verre ordinaire et du verre à bouteille nous conduit à quelques considérations théoriques relativement à leur constitution.

Deux théories ont été proposées pour expliquer ces phénomènes; quelques chimistes, et à leur tête Berzélius ont émis l'opinion que le verre dévitrifié n'était autre chose que la matière vitreuse ayant acquis des propriétés nouvelles par la cristallisation; cette opinion partagée encore aujourd'hui par un grand nombre de verriers a été soutenue par Pelouze dans un travail sur la cristallisation du verre lu en 1874 à l'Académie des sciences.

« La dévitrification, dit ce savant, consiste en un simple changemen physique du verre. »

Il se base pour adopter cette conclusion sur ce fait que de nombreuses analyses ne lui ont montré qu'une différence insignifiante de composition entre le verre primitif et la même matière après dévitrification.

Il admet implicitement qu'un verre quelconque est susceptible de se transformer entièrement en une matière cristallisée.

D'après lui, le fait se passerait notamment pour le silicate de soude et de chaux qui constitue les verres tels qu'on les compose ordinairement et dans lesquels la silice, la soude et la chaux n'entrent pas en proportions définies.

Cette explication en contradiction avec les lois connues de la chimie n'est évidemment justifiée que dans des cas particuliers; ce sont ceux dans lesquels le verre présente la composition d'un minéral défini ou bien encore d'un mélange de minéraux définis susceptibles de cristalliser.

On connaît de nombreux exemples de faits de ce genre. Ainsi les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy ont montré que l'on pouvait faire cristalliser intégralement les verres ayant la composition de l'oligoclase, du labrador, de l'anorthite, de la népheline, des pyroxènes, etc.

D'autres expériences plus complexes des mêmes auteurs ont permis d'obtenir à l'état cristallisé des mélanges de plusieurs silicates qu'ils avaient préalablement fondus en un verre limpide et parfaitement homogène; nous citerons comme exemple la reproduction du basalte composé de feldspath, de labrador, d'olivite, d'augite et de fer oxydulé, nous citerons aussi la reproduction de certaines néphélinites composées de néphéline, d'augite, de spinelle, de grenats-mélanite et de fer oxydulé.

Dans ces dernier cas, la cristallisation du verre formé avec le mélange chimique employé était complète, mais on comprend très bien que dans un grand nombre de cas, on puisse imaginer des mélanges qui ne soient pas susceptibles de se résoudre en un agrégat de substances cristallisées.

Une seconde théorie, plus rationnelle, a été proposée en 1830 par M. J.-B. Dumas; ce savant a considéré la dévitrification comme une cristallisation du verre due à la formation de composés définis infusibles à la température existante au moment de la dévitrification et impliquant, dans la plupart des cas, la formation d'un résidu amorphe correspondant à un mélange chimique dont les éléments soit isolés, soit combinés, ne sont pas connus à l'état cristallisé.

Il admet que cette infusibilité relative est le résultat, tantôt de la volatilisation alcaline, tantôt d'un simple partage dans les éléments du verre; les

alcalis passent alors, d'après lui, dans la portion qui conserve l'état vitreux.

Pour M. Dumas, les éléments cristallisés ne préexistent pas dans le verre, et ne se forment qu'au moment de la dévitrification.

Pour d'autres auteurs, le verre, malgré son homogénéité apparente, contient déjà dans sa masse des composés définis s'en séparant au moment de la cristallisation.

D'après cette opinion, le verre dévitrifié aurait une constitution identique à celle qu'il présente à l'état fondu ; ce serait une sorte de dissolution des éléments cristallisables faite à une haute température dans une matière dissolvante avec conservation de la mollécule cristalline au sein du dissolvant.

M. Benrath, savant industriel à Dorpat, a discuté la question de savoir quel était le dissolvant en question et lui a attribué les compositions suivantes :

$$NaO . CaO . 6 SiO^2.$$
$$NaO . CaO . 4 SiO^2.$$

Mais nous ferons remarquer que, même en admettant l'assimilation du verre aux dissolutions, il serait impossible d'attribuer aux deux silicates précités le rôle que l'on a voulu leur donner ; en effet, dans les cas de cristallisation complète qui ont été cités précédemment, l'agent dissolvant *n'a pu* présenter cette composition surtout d'une façon constante ; il a dû passer par des compositions incessamment variées pendant la durée de la cristallisation et, en dernier lieu, être identique au minéral qui a cristallisé postérieurement à tous les autres.

Ainsi donc, il faut écarter l'idée d'un dissolvant unique et commun à tous les verres, en un mot, d'un verre normal.

Un second point très intéressant de la question est celui de savoir dans l'hypothèse précédente, si ce sont véritablement les minéraux cristallisés par l'effet de la dévitrification qui sont en dissolution dans le verre.

La comparaison avec les dissolutions aqueuses, tout à fait légitime dans le cas qui nous occupe, ne paraît pas justifier cette manière de voir. On sait, en effet par des expériences variées, qu'en général les sels en dissolution n'ont pas la composition de ceux que l'on obtient par une cristallisation de la matière dissoute.

Les expériences faites au moyen de la dialyse, l'étude des refroidissements produits par la dissolution des sels, enfin l'examen des substances solubles douées de la polarisation rotatoire justifient parfaitement cette conclusion.

Les études des pétrographes contredisent aussi l'opinion que les éléments définis, compris dans une sorte de dissolution au sein d'un verre homogène, sont identiques à ceux que révèle une cristallisation par dévitrification.

Comme exemple, nous citerons ce fait qu'un verre ferrugineux agit très peu sur l'aiguille aimantée, tandis que, si l'on soumet ce verre à un recuit qui amène sa dévitrification, on y fait naître aisément des cristaux microscopiques de fer oxydulé, et alors la matière est devenue fortement magnétique.

On peut donc dire que le fer oxydulé ne préexistait pas, mais qu'il a pris naissance par la dévitrification.

Ainsi, tout en admettant que le verre est un mélange de corps à composition définie, dont les molécules plus ou moins complexes offrent des groupements déterminés propres à chacune d'elles, nous pensons que les molécules en question sont différentes, dans la plupart des cas, de celles qui entreront ensuite dans la constitution des cristaux du verre dévitrifié.

Les phénomènes que présente le sucre de canne, suivant qu'il est cristallisé ou fondu, c'est-à-dire à l'état de verre, ou dissous, vont nous permettre de faire ressortir avec plus de netteté l'interprétation que nous venons d'exprimer au sujet de la composition intime du verre.

Le sucre cristallisé est dépourvu de polarisation rotatoire; il possède, au contraire, cette propriété, soit quand il est à l'état de sucre d'orge, soit quand il est dissous; ce fait montre déjà la similitude des verres et des dissolutions; il montre, en outre, que le réseau moléculaire qui appartient aux cristaux est détruit dans les cas de vitrification ou de dissolution.

Dans ces deux cas, la molécule élémentaire du sucre reste seule en évidence et sa désignation se trahit par les phénomènes de polarisation rotatoire auxquels il donne naissance. Cet exemple est très frappant, en ce sens qu'il montre bien la différence qui existe entre un verre et une matière cristalline de même composition.

Le verre renferme des molécules complexes ayant une composition et une symétrie propres, mais ces molécules n'offrent aucun groupement régulier, ne forment pas de réunion jusqu'au moment où commence le phénomène de dévitrification. Il nous reste à considérer la question des relations existant entre la composition chimique du verre et celle des cristaux qu'il est susceptible de produire.

J.-B. Dumas, comme nous l'avons vu ci-dessus, avait émis l'idée que les cristaux provenant d'une dévitrification étaient toujours plus acides que le résidu vitreux de cette opération; dans certains cas particuliers, l'opinion de Dumas est justifiée par l'observation.

Des exemples nombreux de dévitrification observés, soit dans des roches naturelles, soit dans des hauts fourneaux, montrent effectivement que dans certains cas, assez nombreux eux-mêmes, il y a production de silice cristallisée sous forme de tridymite.

Les expériences de reproductions artificielles, effectuées à hautes température par M. Hautefeuille, lui ont permis d'obtenir, au sortir d'un bain alcalin, non seulement la tridymite, mais encore du quartz cristallisé.

M. Fouqué a obtenu de la silice cristallisée sous forme de tridymite associée à un pyroxène calcique, en dévitrifiant un verre formé de 63 pour 100 de silice et 37 pour 100 de chaux. Nous avons tout dernièrement observé une formation abondante de lamelles de tridymite dans les fissures de grains de quartz enclavés dans un verre.

Les grains de quartz en question avaient 1/2 à 1 millimètre de diamètre; ils avaient en grande partie perdu leur action sur la lumière polarisée; ils se montraient parsemés de nombreuses inclusions, les une vitreuses, les autres gazeuses.

Ces grains étaient séparés en plusieurs fragments par des fentes irrégu-

lières, larges de quelques centièmes de millimètres et remplies par de la matière vitreuse.

Dans ces interstices, la tridymite se montre en lamelles d'une extrême minceur, souvent hexagonales, implantées normalement sur les fragments quartzeux en présence.

Quand la tridymite se montre sur la tranche, elle agit sur la lumière polarisée et ressemble beaucoup par sa biréfringence et son signe d'allongement à de l'albite ou de l'oligoclase.

Dans ce cas, la tridymite n'est pas le résultat d'une simple dévitrification; elle provient de la réaction mutuelle qu'ont excercée l'un sur l'autre le quartz et une matière vitreuse fondue.

La présence du quartz demeuré solide au milieu de la matière en fusion a déterminé la cristallisation de la trydimite aux dépens du verre très siliceux logé dans les fentes du minéral.

Cette influence est d'ailleurs manifestée par la disposition de la tridymite en touffes normales à la surface des fragments quartzeux.

C'est un fait analogue à celui qui s'accomplit dans les cristallisations en grand qui s'opèrent parfois dans les verreries.

On sait en effet que si, dans du verre fondu de composition convenable, on projette des fragments de verre à l'état solide, ces fragments servent de point de départ et de centre à une cristallisation.

L'analogie des verres avec les dissolutions devait d'ailleurs faire prévoir ce phénomène.

En somme, la mise en liberté de la silice ne s'obtient artificiellement aux dépens d'un verre que dans certains cas particuliers, la dévitrification des verres ordinaires se fait le plus souvent suivant un mode inverse; les produits principaux qui se séparent à l'état cristallisé sont plus basiques que la partie qui reste à l'état vitreux quand la cristallisation est opérée.

En effet, ces trois produits sont :

La wollastonite;

La diopside;

La mélilite,

qui ne contiennent guère que 50 pour 100 de silice, tandis que le verre en général en renferme 70 à 74 pour 100; le résidu est donc encore plus acide, et si souvent les analystes sont arrivés à des conclusions contraires, c'est que les cristaux prenaient naissance au sein d'un liquide complexe englobant nécessairement une partie décomposée encore liquide, en sorte que leur analyse ne peut pas ordinairement donner la composition des silicates qui se sont séparés par cristallisation.

Du reste, le microscope montre les proportions considérables de verre qui subsistent au milieu des concrétions de dévitrification en apparence les mieux cristallisées.

En résumé, nous nous représentons le verre comme formé d'un ou plusieurs composés définis dont les molécules sont dépourvues d'arrangement régulier et par suite différant entièrement des assemblages en réseaux propres aux substances cristallisées.

D'après les considérations ci-dessus exposées, les composés définis entrant dans la composition des verres seraient constitués par des molécules déjà bien individualisées au point de vue physique et composées par des agrégats atomiques définis au double point de vue de la composition chimique et de l'arrangement.

Ces composés peuvent être, dans certains cas identiques aux corps cristallisés, susceptibles de prendre naissance au sein du verre; mais, dans d'autres cas, ils peuvent offrir une construction différente favorable seulement à la formation de certains corps cristallisés.

La tendance à la cristallisation est d'autant plus marquée que la composition du verre se rapproche davantage de celle d'une espèce ou d'un mélange de plusieurs espèces cristallines connues.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE DU VERRE

Manuel de technologie chimique qui contient des détails sur la fabrication du verre.
PLINE. — Historia naturalis, édition Jan. Teubner, 1870.
MICHAELIS. — Historia vitri, instrumentique vitrei apud Hebræos.
HAMBERGER. — Vitri historia ex antiquitate eruta; tous deux imprimés dans les « Commentarii societatis regiæ Scientiarum », de Göttingue. 4ᵉ partie, 1751.
MARQUARRT. — Antiquités romaines privées, 2ᵉ vol.
BUCHSENSCHUTZ. — Localités principales de l'industrie dans l'antiquité classique. Leipzig, 1869.
BLUMMER. — L'activité industrielle des peuples de l'antiquité classique. Leipzig, 1869.
GARDNER-WILKINSON. — Mœurs et coutumes des anciens Égyptiens. 3ᵉ partie. Londres, 1847.
MINUTOLI. — De la fabrication et de l'emploi des verres coloriés chez les anciens. Berlin, 1836.
BUONARRUOTTI. — Observations sur quelques fragments de vases antiques, trouvés dans les cimetières de Rome. Florence, 1716.
Histoire de l'Académie des inscriptions et belles-lettres. 1ʳᵉ partie. Paris, 1736.
SAUZAY. — La verrerie, depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours. Paris, 1868. Hachette (Bibliothèque des Merveilles).
LOBMEYER. — Industrie du verre, son histoire, son développement, sa statistique actuelle. Stuttgard, 1874.
SEMPER. — Le style dans les arts techniques et tektoniques. 2 vol. Munich, 1863.
BUCHER. — L'art dans le métier. Vienne, 1872.
HERACLIUS. — Couleurs et arts des Romains.
THEOPHILUS. — Une page des différents arts.
De ces deux ouvrages, les éditions sont de Ilg (texte original, avec traduction à côté). Vienne, 1873, 1874.
AGRICOLA. — De la métallurgie, 12 livres. Édition Baste, 1867, Mathesius Sarepta ou Bergpostill. Nuremberg Basiliæ, 1564.
De la fabrication du verre du Florentin Néri, first, édit, 1612; last, 1817. Translated by Merrett in 1662, last édition of translation, 1826.
Ars vitraria experimentalis de Kunckel, avec les remarques du médecin anglais Merret, reproduites dans l'édition de 1744.
LE VAILLANT. — Les verreries de Normandie; les gentilshommes et les artistes verriers normands. Rouen, 1873.
HOUDOY. — Verreries à la façon de Venise. Paris, 1873.
Cet ouvrage traite spécialement du développement de cette branche de l'industrie dans les Flandres.
BUSSOLIN. — Les célèbres verreries de Venise et de Murano.
Les verreries de Murano, tirées des *Grandes Usines*. Paris, Lévy. 9ᵉ partie, Turgan, auteur.
COCHIN. — La manufacture des glaces de Saint Gobain, de 1665 à 1865. Paris, 1866.
Manufacture de glaces de Saint-Gobain, extrait du livre déjà indiqué: *les Grandes Usines*, 3ᵉ partie, par Turgan, édité chez M. Lévy, Paris.
BOSC D'ANTIC. — Œuvres, 2 vol. Paris, 1870.

Collection de mémoires sur la fabrication du verre de son temps, présentés à l'Académie royale des sciences; ensuite l'article écrit par DE JONCOURT, le VERRE, de l'Encyclopédie des sciences, des arts et métiers, in-folio (Neufchâtel, 1765), et aussi un article du même et un article D'ALLUT.
GLACES, dans l'Encyclopédie méthodique ou par ordre de matières. Diderot, d'Alembert. Paris, 1791.
Guide pour la fabrication du verre de Loysel.
LENG. — Manuel complet de toutes les branches de la fabrication du verre. Weimar et Hurenau, 1835.
HARTMANN. — Manuel de la fabrication des objets en poterie et en verre. Berlin, 1842.
STEIN. — Fabrication du verre. Brunswick, 1862.
PELIGOT. — Douze leçons sur l'art de la verrerie (*Annales du Conservatoire des arts et métiers*, t. II, 1862), tiré à part chez l'éditeur Lacroix, Paris.
Le verre, édité chez Masson. Paris, 1877.
FLAMM. — Le verrier du dix-neuvième siècle. Paris, 1863.
SCHUR. — Pratique de la fabrication du verre creux. Berlin, 1867.
BONTEMPS. — Guide du verrier. Paris, 1868.
DUMAS. — Chimie appliquée aux arts.
PRECHTL. — Encyclopédie technologique.
AUSPRATT-STOHMANN. — Manuel encyclopédique de chimie technique, 2e édition,
KNAPP. — Éléments de chimie technologique, 3e édition, traduit en français par Mérijot et Debize, édité chez Dunod, Paris.
KARMARSCH. — Manuel de technologie mécanique, 3e édition. « Composition normale du verre sans plomb (Aix-la-Chapelle, 1868); Mémoire sur la chimie du verre (Dorpat, 1871), FLAMM: Un chapitre sur la verrerie (Paris, 1866).
RICHTER. — Essais sur les causes de la fonte de l'argile. Breslau, 1868.
ARON. — De l'amaigrissement et de la plasticité de l'argile, d'après le *Bulletin de l'Association des fabricants allemands de poterie* (1873).
STEINMANN. — Compendium du chauffage au gaz (Freiberg, 1868). Du même, Cahier complémentaire sur le chauffage au gaz (1869).
SIEMENS. — Fours régénérateurs brevetés. Dresde, 1869.
SALVÉTAT. — De la décoration des poteries et de l'émaillage, extrait et traduit du *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, édité par le Muséum impérial et royal d'Autriche pour l'art et l'industrie. 1871, à Paris, Lacroix, éditeur.
GUGNON. — Verres à vitres; notice sur la décoration. Paris, 1873.
Comme sources spéciales théoriques de l'industrie moderne des glaces :
BENRATH. — Die glasfabrikation. 1875, 2 vol. in-12. Brunswick.
WAGNER. — Études technologiques sur l'Exposition universelle des arts et de l'industrie, à Paris, en 1867. Leipzig, 1868.
LOBMEYER. — Déjà cité : « Industrie du verre ».
FALKE. — L'industrie artistique du temps présent. Études sur l'Exposition de Paris Leipzig, 1868.
LESSING. — L'industrie artistique à l'Exposition universelle de Vienne. Berlin, 1874. Et de plus, toutes les communications officielles sur les Expositions de Paris, Londres, Vienne, Philadelphie.
PAYEN. — Chimie industrielle (article VERRE). Masson, éditeur.
WAGNER. — Chimie industrielle. Savy, éditeur.
LABOULAYE. — Dictionnaire des arts et manufactures.
WURTZ. — Dictionnaire de chimie pure et appliquée. Hachette.
LAZARI. — Notizia delle opere d'arte et d'antiq. della raccolta correr. Venezia, 1859.
Exposé des moyens employés pour la fabrication des verres filigranés. Paris, 1845, par G. BONTEMPS.
FANELLO. — Saggio Storico di Murano. Venezia, 1816.
CARLO MARIN. — Storia civile e politica del commercio di Veneziani. Venezia, 1788.
FILIASI. — Saggio sul antico commercio e sulle arti di Veneziani.
ZANETTI. — Dell' origine di alcuni arti. Venezia, 1758.
BUSSOLIN. — Guida alle fabb. vetrarie di Murano. Venezia, 1842.
Ricerche storica critiche sulla laguna veneta e sul comm. de Veneziani. Venezia, 1803.
GAN W. FRANCKS. — Observations on Glass and Enamel. Londres, 1858.
JULES LABARTE. — Histoire des arts industriels au moyen âge et à l'époque de la Renaissance. 3 vol. in-4°. Paris, 1881 (2e édition). Ve A. Morel et Cie.

ACHILLE DEVILLE. — Histoire de l'art de la verrerie dans l'antiquité. 1 vol. in-4°, avec planches, édité chez V° A. Morel et C[ie].
VALÉRIO. — Revue universelle des mines, etc., appliquées à l'industrie, de M. C. de Cuyper. Liège, juillet 1857. Janvier 1859. « Industrie des glaces. »
G. BONTEMPS. — Traduction du deuxième livre du « Diversarum artium Schedula », du moine Théophile.
ROHET. — Encyclopédie. Manuel de la fabrication du verre, du cristal, de la peinture sur verre.
F. BARFF. — Glass and silicates (But manufacturing Industries, 1877).
— Silicates silicides glass and glass Painting (Cantor lectures, Society of arts), 1872.
JAMES BALLANTINE. — Breatise on Painted glass, 1845.
HAUDICQUER de BLANCOURT. — De l'art de la verrerie. Paris, 1697.
Bolley's Technologie.
CHANCE H. — Crown and sheet glass, Soc. of arts Journal, 1856, p. 222.
M. FARADAY. — Manufacture of glass optical Purposes. Phil. Trans., vol. CXX, 1830.
R. GERNER. — Die glass Fabrikation. Leipzig, 1880.
M.-A. GESSERT. — Geschichte der glassnalerie, etc. Stuttgart, 1839.
J. KUNKEL. — Glassmacherkunst. Nürnberg, 1821.
J.-B. LOYSEL. — Art de la verrerie. Paris, 1800.
A. NESBITT. — Catalogue of the Collection of glass formed by Félix Slade. Wilh Notes on the History of glass making (Painted for private distribution), 1871.
A. PELLATT. — Origin, Progress, etc., of glass manufacture, 1821.
— The Plate glass Book. London, 1784.
G.-R. PORTER. — Treatise on the manufacture of porcelaine and glass (Lardner's Cyclopædia), 1847, Spon's fincyclopædia, article « glass ».
WARRINGTON'S. — History of stained, 1848 (twenty-five coloured plates).
C. WOOD. — Utilization of slag (*Journal Soc. Arts*, vol. XXVIII, 1880, p. 576; *Journal Iron and steel*, 1876, p. 453.
H. CHANCE et HARRIS. — The principales of glass making. Crown and sheet glass, 1883.
GERSPACH. — L'art de la verrerie. Paris, Quantin, éditeur, 1885.
ÉDOUARD GARNIER. — Histoire de la verrerie et de l'émaillerie. Grand in-8°. Tours, Mame et C[ie], éditeurs, 1886
TSCHEUSCHNER (D[r] E.) — Handbuch der glasfabrikation nach allen ihren Haupt und Nebenzweigen. In-8°, Weimer, 1885. Bernhard Friedrich.
M. BERTHELOT. — Les origines de l'alchimie. Steinheil, éditeur. Paris. 1885.
CLAUDIUS POPELIN. — L'art de l'émail. Librairie des Beaux-Arts, Paris. 1868
— Les vieux arts du feu. Lemerre, éditeur, Paris, 1878.
W. FRŒHNER. — La verrerie antique. Description (texte et planches) de la collection Charvet. In-f°. Le Pecq, J. Charvet, château du Donjon, 1879.
HENRIVAUX. — La résistance du verre. Société d'éditions scientifiques, Paris.
L. APPERT et J. HENRIVAUX. — La verrerie depuis vingt ans. Bernard et C[ie], Paris.
— Verre et verrerie. *Encyclopédie industrielle*, Lechalas. Gauthier-Villars et fils, Paris.
Ad. MARCUS. — Les verreries du comté de Bitche.
N. MATHON. — Vases en verre de l'époque gallo-romaine, trouvés à Beauvais.
A. ANDRÉ. — De la verrerie et des vitraux peints dans l'ancienne province de Bretagne.
B. FILLON. — L'art de terre chez les Poitevins, suivi d'une étude sur l'ancienneté de la fabrication du verre.
P. BURTY. — Chefs-d'œuvre des arts industriels.
R. DRALLE. — Aulage und Betrieb der Glasfabriken. Leipzig, 1886.
E. DAMOUR. — Étude sur le nouveau four Siemens. V[ve] Dunod, Paris.
D[r] H EBERT. — Guide pour le soufflage du verre. Traduit par P. Lugol. 1 vol. in-12. Gauthier-Villars et fils, Paris, 1897.

LIVRE TREIZIÈME

CHAPITRE PREMIER

PEINTURE SUR VERRE

Nous ne pouvons être plus agréable aux lecteurs de cet ouvrage qu'en reproduisant ici un passage du remarquable travail de M. Édouard Didron, rapporteur de la classe 19 du groupe III, à l'Exposition de 1878:

« Le vitrail est un élément très important de décoration. Il compte à ce point dans la physionomie extérieure des monuments, que, si parfois, son absence choque les yeux, souvent il détruit l'harmonie générale d'un édifice, quand il ne réussit pas à la compléter: le cadre s'impose au tableau, et ses exigences sont rigoureuses. En principe, le vitrail doit être une peinture nettement et énergiquement colorée, n'admettant pas les tons rompus. La coloration doit produire, par les conditions particulières dans lesquelles elle est établie, un effet calme, bien que vigoureux et brillant, qui ne fatigue pas l'attention et attire doucement l'œil du spectateur, sans le distraire de l'impression qu'il reçoit quand il embrasse l'ensemble des lignes de la construction.

» L'éclat tempéré des merveilleux vitraux du douzième siècle convenait à la simplicité des formes de l'architecture romane. L'admirable entente de l'harmonie qui caractérisait le talent des peintres verriers de cette époque leur permettait l'emploi d'une chaude coloration, sans que l'équilibre général fût détruit, grâce à la beauté incomparable du bleu formant la dominante et servant de fond, comme par l'application fort discrète du rouge, qui, en général, es remplacé par le brun pourpré.

» Dès le commencement du treizième siècle l'éclat pétillant des vitraux augmente. L'harmonie est toujours remarquable, mais elle repose sur d'autres bases. La coloration est plus énergique, infiniment plus brillante, et le vitrail prend une valeur qui se proportionne au jeu plus compliqué des lignes architecturales. Il en est de même au quatorzième siècle, qui se distingue, en outre, par un certain abus du rouge. Au quinzième siècle commence une transformation de l'art, qui lui fait perdre sa logique spéciale. Au lieu d'amener une dernière recrudescence de l'éclat et de la couleur, l'épanouissement définitif du style ogival coïncide, nous l'avons dit, avec une décoloration du vitrail. Celui-ci reprend et exagère sa richesse originaire à la Renaissance, pour décorer les fenêtres en plein cintre de l'architecture nouvelle, ou même les baies vides des

églises du siècle précédent. Mais le style néo-grec, aux formes froides, excluant toute décoration importante, des dix-septième et dix-huitième siècles, semble repousser le concours du vitrail coloré, qui disparaît pour les raisons que nous avons déjà indiquées.

» Et pourtant, cette architecture glaciale, sans aucun souffle chrétien, qui a suivi la Renaissance et a régné jusqu'à l'époque, encore récente, où le style ogival a été remis en honneur, pouvait admettre une décoration dont l'élément principal eût été le blanc, de manière à constituer le vitrail à sujet peint en camaïeu. Le seizième siècle avait commencé ce mouvement remarquable et très caractérisé dans l'école de Troyes. Il fut arrêté dans son développement, et il devait appartenir à notre époque, ainsi qu'à notre pays, de lui donner une nouvelle impulsion.

» Le vitrail d'histoire ou simplement composé d'ornementation a donc la fonction d'être en parfaite harmonie avec le caractère architectural de l'édifice qu'il est appelé à décorer. Son moyen essentiel, la couleur, doit être appliqué suivant les conditions du style de la construction. Mais il est une règle de son exécution dont l'importance n'est pas moindre, bien que les conséquences en soient moins sensibles pour le spectateur : nous voulons parler de la manière dont la composition est ordonnée, ainsi que de l'effet produit par le jeu combiné de la lumière et des ombres (1).

» Comme la tapisserie et tous les systèmes de peinture décorative qui entrent dans l'ornementation d'un grand édifice, le vitrail exige une exécution sobre, exclusive du clair obscur, et même d'un modèle achevé ayant pour but la recherche de l'imitation rigoureuse de la réalité. Ces grands arts de la décoration monumentale sont basés sur une convention qui satisfait l'œil sans que celui-ci soit tenu d'en saisir la raison. La peinture murale, — fresque ou mosaïque d'émail, — la tapisserie et le vitrail doivent obéir à cette loi, qui n'admet guère les ressources de la perspective. Sans condamner absolument certaines exceptions faites à une règle nécessaire dans des cas particuliers, on peut affirmer que toute tendance trop accentuée à l'enfreindre détourne la peinture décorative de sa véritable mission. Cela est surtout exact pour le vitrail en raison de la valeur exceptionnelle donnée à tous ses éléments constitutifs par la lumière qui le traverse. Aucun art n'est plus spécial dans son rôle et dans ses moyens. Il n'a aucun rapport, aucune analogie avec la peinture d'imitaton, mobile de sa nature, et qui se prête aux expressions les plus diverses du talent et de l'imagination de l'artiste. Il y a un abîme, qui ne peut être impunément franchi, entre le vitrail et le tableau. Celui-ci est fait pour être placé près de l'œil du spectateur, quand celui-là est destiné à être vu à une distance toujours assez grande. Dans un tableau, l'intérêt doit se concentrer presque entièrement sur un point et le peintre, afin d'obtenir ce résultat, use des divers artifices de composition et de dégradation de la lumière qui peuvent y concourir. De grands espaces vides sont parfois introduits avec bonheur dans une toile, tandis qu'une verrière comme une tapisserie ne les supporte pas et exige, au contraire, que sa

(1) On trouvera, dans les ouvrages de M. Chevreul, la solution des questions relatives aux mélanges, oppositions et interférences des couleurs.

surface soit remplie par les détails de la composition, sans que, en général, il y ait à craindre un manque d'air et que l'intérêt se distribue trop également dans toutes ses parties.

» Nous avons dit que le vitrail est une sorte de mosaïque ou d'émail cloisonné: il serait aussi juste de le comparer à une tapisserie transparente. On peut assimiler une verrière rigoureusement décorative à un tapis d'Orient, comme on doit ranger le vitrail de style moins archaïque dans la famille des grandes tapisseries d'origine flamande, où les figures, dont l'ensemble constitue un sujet unique, se superposent de manière à faire comprendre une surface à peu près plane, sinon un seul plan.

» Les procédés de fabrication mis en œuvre dans l'art de la peinture sur verre depuis huit cents ans, et que l'on n'a pas la liberté de changer, ne se prêtent nullement, d'ailleurs, à une assimilation entre le vitrail et le tableau, qui n'a aucune raison d'être. La multiplicité des plombs et la petite dimension des pièces de verre sont indispensables à la solidité et à l'effet: elles entraînent à leur suite un système d'exécution qui n'est pas moins nécessaire et dans lequel un dessin clairement indiqué, des figures aux gestes simples, peintes largement, à grands traits, produisent de vigoureux et puissants contrastes. En résumé, le plomb, qui assure la solidité, en divisant le verre en petits fragments, et qui accuse fortement les silhouettes, le verre teint dans son épaisseur, seul moyen d'obtenir une coloration franche et transparente, sont, en sus des nécessités de composition dont nous venons de parler, les conditions essentielles du véritable vitrail.

» La manufacture de Sèvres exécutait autrefois des vitraux dans lesquels le plomb était à peu près supprimé, et la coloration obtenue au moyen d'émaux peints sur le verre blanc; mais ce procédé, d'un emploi fort difficile et fort coûteux, se trouvait si impuissant qu'on était obligé d'y ajouter quelque supercherie pour compléter le travail, sans atteindre, du reste, à des résultats satisfaisants.

» Un vitrail ainsi compris n'avait guère plus de valeur qu'un beau store, et constituait une œuvre extrêmement fragile.

» Quelques peintres verriers de nos jours ont accepté une partie de l'héritage de l'ancien atelier de Sèvres en essayant de racheter les graves défauts de ce système détestable de vitrail-tableau par des procédés nouveaux, très ingénieux, et par une grande vigueur d'exécution qui n'est pas sans charme. Mais l'erreur reste réelle et la tendance est d'autant plus fâcheuse qu'elle trouve trop d'admirateurs empressés à l'encourager.

» Le champ est assez vaste pour être exploité par tous les talents et les plus divers; les convenances spéciales aux différents styles des édifices à décorer sont trop nombreuses pour que la personnalité d'un artiste ne parvienne pas à se mouvoir librement dans les limites imposées par les lois essentielles d'un genre de décoration qui a un but nettement défini. »

La peinture sur verre naquit dans le cours du moyen âge à une époque qu'il est impossible de déterminer exactement. Il nous suffira de rappeler que les plus anciens monuments encore existants, — certains vitraux de la cathédrale du Mans, — datent, en toute certitude, des premières années du douzième

siècle. P. Monier (1), Le Vieil (2) et Jaucourt (3) nous apprennent qu'en France prit naissance l'art plus moderne de la peinture en apprêt dont nous avons enrichi l'Italie.

Un décret du Concile de Trente (vingt-cinquième session), a beaucoup contribué à l'extension des verrières dans nos édifices religieux. Ce décret prescrivait aux évêques de faire peindre sur les murailles des églises, pour l'instruction et l'édification du peuple, les récits des mystères de notre rédemption.

On a prétendu que le secret de la peinture sur verre avait été perdu ; ce qui était réellement perdu, c'était le goût, et par suite la pratique de la peinture sur verre. Or il ne suffit pas de connaître théoriquement les procédés d'un art : pour réussir dans leur application, il faut encore l'expérience, qui seule apprend à les mettre convenablement en œuvre. Sans maître, sans tâtonnements, et à l'aide des seuls renseignements théoriques, on n'arriverait pas à produire des œuvres d'art semblables à celles que nous fournit l'industrie moderne; pour que de tels résultats soient obtenus, il faut les enseignements d'une longue pratique, lesquels se complètent de génération en génération. C'est dans cette chaîne traditionnelle que l'art réside, et dès qu'elle est interrompue, l'art redescend à son berceau. L'art ne gît pas dans la spéculation, mais plutôt dans la pratique, et s'il n'est pas entièrement à inventer, toutes les fois que celle-ci a été longtemps suspendue, il est au moins en grande partie à retrouver.

Le moine Théophile, dans la plupart des chapitres du second livre de son *Essai sur divers Arts* (4), qui date du douzième siècle, traite principalement de la peinture sur verre. Depuis, plusieurs auteurs tels que Haudicquier de Blancourt en 1667, Kunckel en 1679, Levieil en 1774, ont décrit avec précision les procédés de la peinture sur verre, ce qui prouve que ces prétendus secrets n'ont jamais été perdus.

L'avènement de cet art fut préparé progressivement ; plusieurs peuples de l'antiquité employèrent fort habilement le verre, tant pour leur agrément que pour leurs besoins domestiques. Les Romains excellaient dans l'art de fabriquer des pâtes, des pierres factices, des verres et par conséquent des vitres colorés. Les premiers vitraux dont il est question dans les auteurs grecs et latins, datent du quatrième siècle. Au cinquième siècle, les Gaules prirent de l'Italie et de l'Orient l'usage des vitres colorées ; une verrière de cette époque était une véritable mosaïque, consistant dans l'association plus ou moins artistique et savante de morceaux de verres colorés dans la masse et dont les intervalles étaient remplis par des lames de plomb qui formèrent un ensemble de ces morceaux de proportions diverses et leur donnaient la résistance voulue aux agents atmosphériques. Au septième siècle, l'église de Sainte-Sophie, de Constantinople, avait des fenêtres ornées de vitraux.

(1) *Histoire des arts ayant rapport au dessin.*
(2) *Traité de la peinture sur verre.*
(3) *Encyclopédie méthodique.*
(4) Voy. *Traduction G. Bontemps*, ch. XVII et suiv.

surface soit remp
y ait à craindre
dans toutes ses p
» Nous avons d
il serait aussi ju
miler une verri
doit ranger le
tapisseries d'orig
unique, se supe
plane, sinon un
» Les procédé
depuis huit cen
nullement, d'ail
aucune raison
pièces de verre
leur suite un sy
un dessin claire
à grands traits,
plomb, qui assu
accuse forteme
d'obtenir une c
composition do
vitrail.
» La manufa
plomb était à p
peints sur le ve
coûteux, se tro
cherie pour co
satisfaisants.
» Un vitrail
constituait une
» Quelques p
de l'ancien ateli
système détesta
et par une gran
reste réelle et l
rateurs empress
» Le champ
divers; les con
sont trop nomb
se mouvoir libr
genre de décora
La peinture
est impossible
plus anciens m
du Mans, — d

... les jours, surtout ...
... du moyen âge ...
... à des règles très ...
... remplir certaines ...
... occuper;
... iconographique, ...
... ouvrages de la peinture sur
... importance.
... cartons d'après lesquels
... que l'on trouve rare-
...
... posséder quelques notions
... religieux et une certaine
... les vitraux d'église ser-
... entre les mains de l'artiste
... exigées d'un bon dessi-
... issement si celui-ci veut
... responsable et s'il veut, en
... industriellement, la peinture
... des arts décoratifs et déshonore
... La décadence est complète. Mais elle
... art, en raison de l'importance
... est basée sur la connaissance approfondie de
... et artiste, sait utiliser un dessinateur
... La composition générale d'une verrière, son
... ses détails iconographiques, les rapports mul-
... sur le papier et l'exécution peinte sur le verre,
... l'effet et la raison essentielle du vitrail,
... au peintre verrier, obligé de faire appel au concours de
... et d'ouvriers spéciaux. En dehors de ces conditions,
... le plus souvent, la production du vitrail moderne
... et sans prévision d'un résultat déterminé ; c'est
... d'un même atelier des verrières assez bonnes,
... suivant que le dessinateur employé, maître trop absolu

(1) Librairie archéologique de Ed. Didron.

l'œuvre dont il est chargé par un chef d'établissement étranger à son art, ›ssède la plupart des qualités qui viennent d'être indiquées, — ce qui est fort ·re, — ou n'est pourvu que d'une partie des talents et de la science nécessaire l'accomplissement d'une mission trop lourde pour lui, au dix-neuvième ècle.

Le meilleur moyen d'obtenir une bonne verrière est de l'exécuter d'après es cartons composés spécialement pour cet objet. On ne doit pas oublier que ι peinture sur verre est essentiellement un art décoratif, et que l'on ne peut, ans manquer à cet art, reproduire des tableaux d'un autre genre sous une orme qui ne saurait leur convenir.

Raphaël, entre autres peintres, a dessiné, dit-on, des cartons pour Bernard Palissy, pour les peintres verriers de Beauvais ; mais Raphaël semble avoir eu le soin, en donnant le modèle d'un vitrail, de se plier aux exigences du genre, et en effet les vitraux exécutés d'après ces cartons ne ressemblent en rien à la copie d'un tableau ordinaire.

Selon qu'un vitrail est destiné à un édifice religieux ou à un édifice civil, suivant qu'il est destiné à une église déjà garnie de vitraux, suivant que cette église n'en possède pas encore, suivant que le vitrail doit orner isolément un point de l'édifice ou faire partie d'une série de verrières, le choix du sujet peut varier à l'infini.

Nous renverrons le lecteur aux ouvrages spéciaux traitant spécialement de la peinture sur verre au point de vue de l'esthétique, et nous nous occuperons ici principalement de l'harmonie des couleurs dans un vitrail, de la nature des verres, des procédés employés, en un mot, dans la partie de cet art que nous qualifierons de partie industrielle de la peinture sur verre.

Les peintres-verriers semblent se désintéresser de plus en plus des expositions où leurs œuvres sont placées généralement dans de mauvaises conditions d'éclairage, d'élévation et surtout de classification.

On devrait accorder aux vitraux une classification distincte, un jury spécial· Du reste, la peinture sur verre subit une transformation complète; loin de rencontrer la protection du gouvernement, les artistes sont obligés, maintenant, de soumissionner les travaux de restauration des vitraux appartenant aux monuments historiques, absolument comme s'il s'agissait de badigeonnage ou de maçonnerie.

Le caractère laïque du vitrail s'accentue de plus en plus; les habitations particulières luxueuses sont maintenant ornées de vitraux, ordinairement mauvais, à cause du prix que l'on accorde à des œuvres qui, pour être artistiques, sont nécessairement très coûteuses.

L'Exposition de 1889 offrait peu de vitraux remarquables; il a été permis cependant de constater, pour certains peintres anglais et français, une remarquable habileté d'exécution.

En 1878, on trouvait des éléments d'études très importants dans l'exposition du vitrail; depuis, le verre lui-même — dont la fabrication a fait de réels progrès — a été mis plusen valeur; les cives, les cabochons produisirent certains effets nouveaux. En 1889, un verre d'aspect particulier, marbré, nacré, strié, voilé, dit verre « américain » a fait son apparition dans cer-

la des vitraux et l'effet produit lorsque ce verre est employé avec discernement, avec discrétion, est des plus satisfaisants. L'inventeur de ce verre, M. Lafarge, a exposé entre autres, un vitrail à fond jaunâtre à petits feuillages et animaux bizarres, dont la coloration irisée est d'un effet charmant.

Les *Japoneries* de M. Carot dénotent, chez cet artiste, une intelligence, une adresse, un talent particulier à ce genre de vitraux.

Le *Saint-Georges* de M. Bégule, de Lyon, — dans ce vitrail le verre américain est employé très judicieusement — a droit à tous les éloges comme style, coloration, dessin correct, franc.

Il est regrettable que tous les efforts dépensé dans l'énorme vitrail placé dans l'axe transversal de la Galerie des Machines et représentant le *Char du Soleil*, ait produit ce store banal, indigne, à notre avis, du nom de vitrail.

La *Bataille de Bouvines*, œuvre de MM. C. Champigneulle et Frittel, renfermait des parties très satisfaisantes, comme, par exemple, le *Combat* figurant dans la salle où se tient le conseil de guerre de Valenciennes; ce n'est toutefois pas suffisant pour une pièce de cette importance, qui sera bien pâle lorsqu'elle sera examinée dans son cadre définitif.

On a vanté le travail de M. Oudinot, dessiné par M. O. Merson : *Jésus à table ayant à ses côtés les pèlerins d'Emmaüs*. Cette œuvre dénote, de la part de l'artiste, un talent consommé; mais nous préférons voir traiter par M. O. Merson des sujets moins religieux; les deux disciples du Christ pourraient être aussi bien placés dans tout autre cadre que dans celui-ci.

Oudinot avec exposé d'autres vitraux parmi lesquels il y a à constater de belles parties; pas un de ces vitraux n'offrait, à notre avis, un tout bien satisfaisant et réellement remarquable. Au pavillon de la République argentine, là où le verre a été employé à profusion pour différents emplois ornementatifs, il y avait un certain nombre de vitraux parmi lesquels il convient de distinguer l'intensité et l'harmonie de coloration de quatre paons; au milieu de cette ornementation, le verre américain produisait un effet remarquable.

La République française recevant la République Argentine à l'Exposition universelle de 1889, tel est le sujet d'une assez grande verrière placée en haut de l'escalier conduisant au premier étage de ce pavillon. Composition médiocre, aspect et couleurs heurtés; en somme, peu de distinction d'ensemble : un garde municipal et son cheval occupent là une place trop considérable et nuisent aux autres personnages dont ils diminuent l'importance.

Nous avions remarqué aussi au pavillon algérien des vitraux de M. Didron, vitraux style arabe, très colorés à fond blanc et jaune; ces vitraux sont d'un procédé d'exécution assez sommaire dû à M. Didron, qui consiste à tracer des rinceaux en pleine coloration et aux détails multiples dont les tons variés se détachent sur un fond de préférence jaune ou blanc. Les feuilles et les fleurs dominent, le dessin est constitué par le plomb; or, cette matière ne servant que de sertissure, ne doit être employée que pour exprimer une forme. C'est donc une véritable vitrerie en plomb assez coûteuse par le travail qu'elle

exige. — Ces vitraux sont solides à cause de la petite dimension des pièces de verre et à cause de la multiplicité des plombs.

Le vitrail moderne à la Société nationale des Beaux-Arts. — Il faut saluer avec plaisir le retour des verriers de tempérament artiste. A l'ancienne pratique du vitrail tel que le concevaient les maîtres du dix-huitième siècle — au lieu de fades camaïeux et des pâleurs dont on nous afflige encore sous prétexte d'imiter les maîtres de la Renaissance — nous allons voir dans les églises, dans les appartements, une floraison de belles mosaïques, de fragments aux riches coloris, franchement sertis par le plomb. Dans ce recommencement encore trop hésitant, citons les tentatives de M. Jacques Galland, celles de M. Carot, *le Mail* (Hôtel de Ville de Paris), *les Paons* (carton de M. Besnard), *le Jardin public* (carton de M. Lerolle), œuvre étrange et séduisante où, sous les arbres de nos promenades, traités par larges masses d'un violet rompu, les élégantes, en costumes fin de siècle, vont et viennent parmi ces verres bleus, jaunes et noirs, sans nous heurter.

Puis, *la Chasse au sanglier* de M. Grasset (Salon de 1895), très intéressante pour l'emploi des plombs, la furie de la composition.

Vitraux américains. — Depuis quelques années, en 1895 principalement, au Salon du Champ-de-Mars, nous avons examiné avec intérêt quelques spécimens des verrières que M. Tiffany, de New-York, exécute au grand enthousiasme de ses compatriotes.

Nous croyons utile de reproduire ici le passage d'une étude que consacre à ce sujet une Revue américaine (1). Tout en faisant la part des exagérations habituelles aux Américains lorsqu'ils parlent d'eux-mêmes, on ne peut méconnaître que l'importateur en Amérique de l'art du vitrail mérite la reconnaissance de ses concitoyens.

D'ailleurs, l'école américaine de peinture sur verre, destinée à répandre dans le public la connaissance de cet art, rend les plus grands services à notre art décoratif.

« Comparés aux vitraux européens, les vitraux américains leur sont bien supérieurs *en originalité*.

« Les artistes semblent avoir oublié que le principal but d'une fenêtre est de laisser pénétrer la lumière, et que leur rôle dans l'ornementation générale de l'édifice n'est que secondaire.

« En Europe on s'occupe plus du dessin que de la couleur du verre qui fait l'office simplement d'un fond sur lequel on peint un tableau. Cette méthode de travail donne des fenêtres très proéminentes, opaques et lourdes.

« Comme le verre dont on fait usage est d'une contexture, d'une épaisseur et d'une couleur uniforme, les ombres et les lignes produites avec l'émail sont trop accentuées.

« Pour éviter de rendre le verre opaque, on emploie des teintes pâles et incolores qui donnent au vitrail l'apparence du papier peint et lui font perdre

(1) *The Décorator and Furnisher.*

beaucoup de sa valeur décorative. Ajoutez à cela que le dessin n'est nullement décoratif, et vous comprendrez pourquoi l'effet général est peu satisfaisant.

« Les dessins, il est vrai, sont souvent très beaux et empreints d'un grand sentiment religieux, mais ils conviendraient mieux à des peintures murales qu'à des vitraux, et on voit par là que les motifs qui sont d'un bel effet sur le papier ne produisent rien de bon sur verre.

« Les Américains, au contraire, sont essentiellement coloristes. Leur verre, comme cela doit être, a des épaisseurs variables; il est rugueux, plein de bulles d'air et bien coloré, de manière à augmenter les effets de la transparence. La méthode de nos artistes est fondée sur les propriétés essentielles des mosaïques; elle consiste à juxtaposer des pièces de verre de couleurs diverses, de manière à produire une peinture transparente où les graduations d'ombre et de lumière sont parfaitement observées.

« MM. Tiffany et La Farge sont pratiquement les fondateurs du système américain, et la haute valeur de leurs travaux est universellement reconnue; la France a accordé à M. La Farge la croix de la Légion d'honnenr. Ces deux artistes ont commencé leurs recherches simultanément. Pendant un certain temps ils ont travaillé parallèlement, et bien que leur méthode diffère, ils ont pris l'un et l'autre comme point de départ la mosaïque, pensant que c'était là qu'il fallait chercher la solution désirée.

« M. Tiffany cherche à utiliser pratiquement les qualités spéciales du verre comme coloris et contexture, afin d'obtenir dans le verre lui-même des ombres et des clairs par les différences d'épaisseurs et les irrégularités du coloris et des surfaces.

« M. La Farge cherche à obtenir les mêmes effets en séparant les clairs et les ombres par des lignes de plomb, quelquefois en plaquant le verre pardessus ces lignes, ou, pour mieux dire, en les incorporant dans le verre; ou dans d'autres cas, en composant son dessin avec de petites pièces de verre soudées par des lignes de plomb étudiées avec soin, puis en recouvrant le tout par deux ou trois épaisseurs de pièces de verre plus grandes.

« L'un et l'autre système demandent une sérieuse attention de la part de l'artiste, non seulement pour dessiner, mais à tous les instants du travail. Rien ne peut se faire mécaniquement, car le résultat final dépend de l'exacte concordance des couleurs, de l'arrangement artistique du plomb par rapport à l'ensemble.

« MM. Tiffany et La Farge ont eu plusieurs imitateurs, mais il y en a peu qui aient obtenu des succès réels. Parmi eux on doit citer Frédéric Lathrop et Maitland Armstrong.

« Ce qui a causé l'échec des autres, c'est une appréciation erronée de la couleur dans toutes ses variations et ses modifications.

« Pour construire une fenêtre, l'artiste doit choisir avec grand soin le verre qu'il veut employer. Il lui faut souvent examiner plus de douze pièces de verre avant de trouver la bonne. Il arrive souvent que tous ces efforts sont infructueux; alors on superpose plusieurs pièces de diverses couleurs pour obtenir le ton voulu. L'artiste doit ensuite modeler les chairs des

figures. On emploie à cet effet des oxydes métalliques fusibles qui s'incorporent au verre par la chaleur. Le vitrail est construit ainsi pièce à pièce, chaque pièce étant réunie à la voisine par une étroite ligne de plomb.

« L'école américaine a étudié d'une manière toute spéciale cette jonction au plomb, parce qu'elle est usitée dans la mosaïque. Il y a cependant d'autres systèmes, tels que ceux de M. Bray et de M. Belcher, qui permettent de faire de la mosaïque délicate et dans lesquels les lignes de plomb concourent à l'effet général et font ressortir le dessin. »

Vitraux dits céramiques. — Sont appelés ainsi, parce qu'ils sont obtenus par les procédés appliqués aux produits céramiques.

Le progrès de cette fabrication nouvelle consiste dans la facilité d'obtenir sur du verre blanc des colorations transparentes en nombre infini analogues à celles des verres teintés dans la masse ou doublés. Ce résultat s'obtient par l'application sur le verre d'émaux convenablement préparés, au moyen du pinceau, suivant un dessin à reproduire. Le travail terminé doit être soumis à une température beaucoup plus élevée que celle de la peinture sur verre et suffisante pour refondre le tout.

De sorte que, après la cuisson, la décoration et le verre forment un ensemble homogène et parfaitement solide. Il est facile d'en déduire tous les effets variés pouvant résulter de ces procédés nouveaux. Les tons peuvent s'obtenir en toutes nuances, à toutes intensités, unis, dégradés, etc. C'est la suppression des plombs quand ils sont inutiles et la simplification des anciens procédés pour obtenir certains assemblages de couleurs qui souvent étaient impossibles. Les grisailles, si souvent nécessaires, sont placées entre le verre et l'émail comme dans la fabrication céramique.

M. Charmantier s'est livré à de nombreux essais ayant pour but de produire industriellement le vitrail, tout en conservant le modelé que l'art actuel réclame impérieusement. Il a voulu mettre ce genre de décoration à la portée des fortunes moyennes, c'est-à-dire du plus grand nombre.

Sur une plaque de plâtre, M. Charmantier exécute en creux le dessin à obtenir en tenant simplement compte que les cavités produisent des ombres d'autant plus foncées que le creux est plus accusé.

Ce plâtre qui n'est en réalité que le carton du vitrailler est ensuite moulé en fonte et sur cette fonte on étend le verre en fusion. Sur le verre ainsi imprimé il suffit de déposer les émaux en poudre grossière là où telle ou telle couleur est nécessaire ; on passe ensuite au four à recuire pour amener la fusion des émaux.

Les verres ainsi émaillés peuvent servir à décorer les baies, fenêtres ou portes, à la confection des lanternes, garde-feu, globes à pans pour éclairage, etc.

Verres des vitraux anciens. — La propriété que possèdent les verres de se colorer de nuances variées, par l'addition aux éléments qui les constituent d'oxydes métalliques convenablement choisis, a été découverte très probablement en même temps que la fabrication du verre elle-même.

L'utilisation qui en a été faite, dès les époques les plus lointaines, pour la confection d'objets de parures et d'ornements, en donne une preuve certaine; les nombreux et intéressants spécimens découverts dans les nécropoles qui recellent depuis six mille ans les sépultures des Pharaons, nous en donnent journellement la confirmation.

On savait marier avec beaucoup d'ingéniosité les verres colorés, les uns transparents, les autres opaques, pour en faire des vases d'ornement, toujours de petite dimension, des perles, des grains percés, des cachets, des pièces moulées de toutes formes, unies et imitant les pierres gemmes, plus généralement recouvertes de dessins formés par le mélange ou l'application de ces verres les uns sur les autres.

Ces verres étaient toujours d'une grande fusibilité et n'avaient exigé pour être travaillés qu'une température peu élevée.

Dans la suite, le développement progressif du christianisme devait en amener une utilisation nouvelle et autrement importante en faisant concourir les verres colorés à la décoration des monuments religieux, soit qu'on les employât en mosaïques murales ou en parement, soit qu'on les fît servir à la confection des vitraux destinés à clore les baies des basiliques dans lesquelles était pratiqué le culte.

Ce dernier genre de décoration du plus merveilleux effet et de beaucoup le plus employé, était on ne peut mieux approprié à l'objet que l'on avait en vue, aussi bien par la richesse des colorations qu'il donnait que par le mystère que l'atténuation savamment ménagée de la lumière du jour répandait dans ces milieux où tout devait concourir à amener le recueillement des fidèles appelés à les fréquenter.

Les oxydes employés pour la coloration des verres étaient les mêmes que ceux utilisés aujourd'hui, à l'exception des oxydes d'or, d'argent, d'urane, de chrome, dont les propriétés ne paraissaient pas connues. Ces oxydes étaient toujours plus ou moins impurs, suivant leur origine ou suivant l'état dans lequel ils étaient employés.

Sauf pour certains tons, tels que les verts et les jaunes, ils étaient employés seuls.

Par suite de l'impureté des matières premières employées, et en particulier par suite de la nature des sables, les verres, même regardés comme blancs, étaient toujours plus ou moins teintés : les verres anciens se distinguent, en effet, des verres modernes fabriqués pour le même objet par une composition élémentaire sensiblement différente ; ils contiennent toujours, dans une proportion qui peut varier de 1 à 8 p. 100 de l'alumine et de l'oxyde fer. Actuellement, on cherche à en éviter la présence en employant des matières premières aussi pures que possible.

La présence de ces deux corps dans les verres anciens a une influence notable sur leurs propriétés physiques et sur leur coloration.

Si on les compare aux verres modernes, quoique contenant moins de silice, il sont plus durs et d'un travail plus difficile, la substitution de l'alumine à la silice dans les proportions indiquées plus haut entraînant une diminution notable de la malléabilité.

C'est ainsi qu'on s'explique les faibles dimensions des morceaux de verres entrant dans la composition des vitraux jusqu'à la fin du dix-septième siècle et l'irrégularité de leur épaisseur qui peut aller quelquefois du simple au triple.

Ces verres, par contre, sont peu fragiles et difficilement attaquables, bien faits par conséquent pour résister aux altérations que pouvait leur faire subir l'action prolongée des éléments atmosphériques avec lesquels ils étaient destinés à se trouver en contact.

Voici, à titre d'exemple, la composition de fragments de verres rouges du treizième siècle, qui peuvent être regardés comme représentant la composition moyenne des verres de cette époque :

	N° 1	N° 2
Silice	56,40	56,10
Chaux	14,40	14,30
Potasse	17,50	16,90
Alumine	7,90	8,40
Sesquioxyde de fer	3,20	2,80

Pour les étudier au point de vue de leur résistance, l'emploi que j'ai indiqué de l'eau bouillante agissant sur du verre finement porphyrisé, a donné des résultats intéressants qui montrent que ces verres sont plus résistants et moins attaquables mêmes que les verres de fabrication moderne les mieux composés, dont le type est le verre à glace de Saint-Gobain :

Nature des échantillons.	Perte de poids par 100 grammes de matière.
1° Verre verdâtre du treizième siècle	0,96
2° Verre rouge veiné, modèle de rouge, treizième siècle.	1,05
3° Verre à glace de Saint-Gobain	1,186
4° Verre de gobeleterie de bonne fabrication (moderne).	2,076
5° Verre pour soufflage à la lampe d'émailleur	3,974

Une autre particularité qu'il est utile de signaler, et qui résulte de l'analyse de ces verres, c'est que, jusqu'au seizième siècle, la potasse était seule employée comme devant fournir lélément alcalin. La facilité avec laquelle on put se procurer plus tard les soudes d'Orient fit qu'on employa la soude seule à partir de cette époque.

La présence de l'alumine et de l'oxyde de fer ont influé d'une façon notable sur la nature des colorations obtenues par les oxydes métalliques en en atténuant la vivacité et l'éclat.

Les artistes émérites qui les ont utilisés, ont su les harmoniser avec beaucoup d'art : les vitraux anciens des douzième, treizième et seizième siècles, quoique différents de tonalité et d'arrangement, sont généralement remarquables et se distinguent par le sentiment esthétique avec lequel ils ont été composés autant que par la perfection avec laquelle ils ont été exécutés.

(1) Se reporter pour plus amples détails à la brochure publiée par M. Léon Appert : *Étude sur les verres des vitraux anciens*. Paris, Gauthier-Villars, 1896.

DE L'HARMONIE DES COULEURS

M. Chevreul, dans son remarquable mémoire sur les vitraux peints, fait une distinction entre les différentes sortes de verre employées dans cette fabrication. On peut distinguer jusqu'à trois sortes de verres dont on fait usage dans la fabrication des églises dites *gothiques :* 1° le verre blanc ordinaire ou incolore; 2° le verre blanc dont une face seulement est colorée. Le verre rouge de protoxyde de cuivre est toujours dans ce cas; car le verre coloré par cet oxyde est tellement foncé que, vu en masse, il paraît noir; de là provient la nécessité, pour avoir un verre transparent de couleur rouge, de plonger une canne de verrier dans un pot de verre incolore, et de la plonger ensuite dans un pot de verre rouge; en soufflant le verre, on obtient un manchon de verre incolore recouvert d'une couche de verre rouge d'autant plus mince que la proportion du verre incolore au verre rouge est plus forte à égalité d'épaisseur de l'ensemble des deux verres. Il est évident que ce procédé est applicable à des verres d'une couleur quelconque.

3° Le verre coloré dans toute sa masse; tels sont les verres bruns, bleus, pourpres, jaunes, orangés, verts et leurs diverses nuances.

On peut peindre sur trois sortes de verre, et si l'on veut se rendre compte des effets, il faut distinguer la face interne du verre qui voit l'intérieur de l'église d'avec la face externe qui voit le dehors.

Face interne. — C'est sur elle qu'on dessine le trait et qu'on applique l'ombre, que l'on peut forcer jusqu'au noir.

Face externe. — Par exception on peint une ombre sur la face externe quand on juge nécessaire d'augmenter la vigueur de l'ombre de la face interne.

On doit mettre les *couleurs unies*, c'est-à-dire qui ne sont pas ombrées, sur la face externe, à savoir : le jaune, les carnations (oxyde de fer sanguin), le vert, le bleu, le pourpre. Le pourpre et les carnations sont exclusivement appliqués à la face externe.

Le vert, le bleu et le pourpre, qu'on appelle *émaux*, s'appliquent quelquefois sur la face externe.

Au dix-septième siècle, on a fréquemment employé, dans les petits sujets et dans les bordures de fenêtres, les *verres* dits *émaillés.*

Ces verres sont blancs ou incolores.

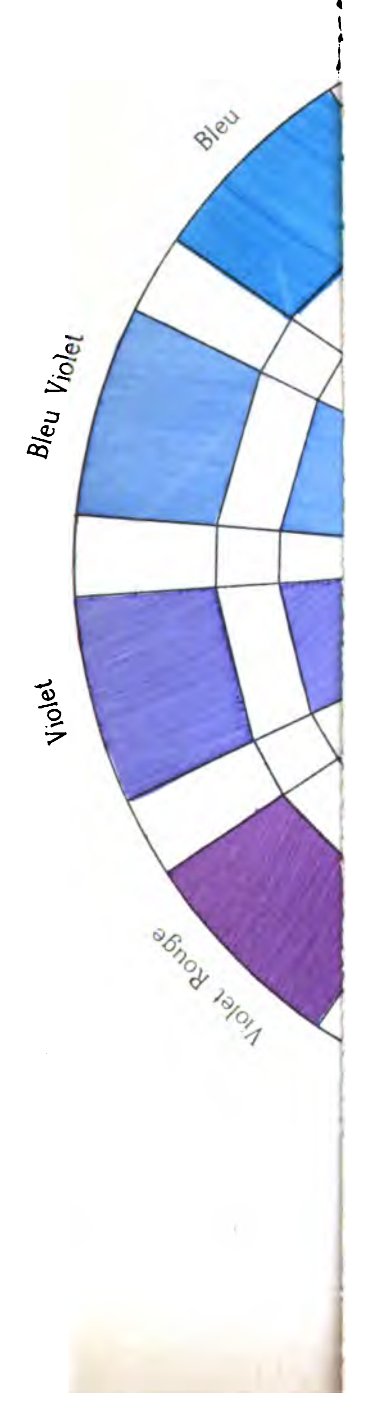
On les peint avec un émail coloré :

En *bleu* par le cobalt;

En *vert* par l'oxyde de cuivre ;

En *pourpre* par le manganèse.

L'émail est mêlé, avant d'être appliqué sur le verre, avec une composition appelée *fondant, raquette, rocaille,* que l'on prépare avec un sable siliceux ou des cailloux incolores, du minium et du nitre. C'est donc un silicate de potasse et de plomb, une sorte de cristal.


Bleu
Bleu Violet
Violet
Violet Rouge

L'emploi du verre teint dans la masse produit des effets plus puissants, plus solides, que l'application des couleurs émaillées sur verre blanc.

Pour cette application particulière, la fabrication moderne des verres colorés est trop soignée; la pâte est trop pure, trop homogène, trop uniforme. La pureté des verres de notre fabrication actuelle jointe à leur épaisseur moindre ou plus uniforme que celle des verres anciens, leur donne une trop grande transparence qu'on est obligé d'atténuer.

Dans les anciens verres, l'épaisseur était forte, inégale, souvent ils étaient *gauchis ;* la pâte du verre renfermait des stries, des bulles. Ces défauts étaient surtout apparents dans les verres dits blancs, et qui avaient toujours une légère coloration vert jaunâtre, si appréciée des peintres verriers, et qui enlevait à ces verres la crudité de nos verres blancs actuels.

Nos verres actuels peuvent être employés avec succès dans les petits vitraux faits pour être vus de près.

Pour les grands vitraux, destinés aux décorations religieuses, les peintres verriers devront fabriquer eux-mêmes leurs verres blancs, de même que leurs verres colorés. La peinture, qui admet le mélange de la grisaille et de la polychromie, peut se contenter d'une palette peu compliquée. M. de Lasteyrie, dans ses ouvrages sur la peinture sur verre, recommande aux artistes de choisir toujours des verres d'une épaisseur suffisante, de rechercher les tons les plus intenses, et surtout les plus francs, tels que de beaux rouges, de beaux bleus, des verts, des violets, quelques jaunes bien purs, et d'éviter ces tons d'invention moderne, dont l'aspect douteux jure avec les nuances si franches que le vitrail semble emprunter au spectre solaire. Sauf dans des cas particuliers, les tons rompus doivent être proscrits.

Le choix et l'harmonie des couleurs est ce qu'il y a de plus important dans la peinture sur verre. Cette harmonie résulte, comme le décrit si bien M. de Lasteyrie :

1° De l'intelligence avec laquelle on rapproche les unes des autres les couleurs les plus propres à se faire valoir réciproquement;

2° De l'art avec lequel le peintre sait employer les ressources de sa palette pour colorer les parties claires et modeler celles dont la teinte générale du verre indique suffisamment la nuance.

Pour satisfaire à la première de ces qualités, il faut beaucoup d'expérience; pour la seconde, beaucoup d'habileté.

Tout d'abord on doit éviter dans un vitrail la trop grande transparence, qui ferait ressortir l'opacité des plombs; il faut éviter la prédominance de certaines nuances, excepté toutefois pour les fonds unis des vitres à grands sujets. A l'appui de ce que nous disons ici, nous citons comme exemple les décorateurs du treizième siècle, nos modèles pour l'harmonie des couleurs.

C'est à la cathédrale de Chartres qu'on trouvera le plus bel exemple de cet art chrétien des douzième et treizième siècles; là, la transition des couleurs de la nef au chœur et aux chapelles qui entourent le chœur est savamment ménagée.

Il y a pour les vitraux à grandes figures des couleurs en quelque sorte conventionnelles dont on ne doit pas s'écarter : pour les vêtements du Christ, il convient d'adopter le pourpre, le bleu, le violet; pour la Vierge, on adopte

généralement le bleu allié au pourpre brun, le rouge ou le pourpre allié au vert et le blanc verdâtre pour le voile; il convient également, pour le groupement des couleurs, de tenir compte de l'effet de leur contraste.

Si on laisse tomber un faisceau de lumière blanche sur un prisme de verre les rayons correspondant aux diverses couleurs étant inégalement réfrangibles viendront donner sur un écran placé derrière le prisme, une image diversement colorée renfermant toutes les couleurs dont la réunion forme la lumière blanche. D'où l'on déduit que la couleur d'un corps est la sensation que produisent sur l'œil les rayons lumineux d'une couleur réfléchis par ce corps, pendant que les autres sont absorbés ou dispersés. L'aspect du spectre indique clairement des couleurs fondamentales dont l'œil a une perception plus nette que des couleurs intermédiaires.

Ces couleurs fondamentales sont :

Rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet.

La réunion de plusieurs de ces couleurs forme une des couleurs du spectre.

Newton a divisé les sept couleurs du spectre en donnant à chacune d'elles une valeur dont la pratique ne tient généralement pas compte, de là l'habitude de diviser ces couleurs en valeurs égales. Il ne doit pas en être ainsi et l'on aura une notion plus nette de l'importance à attribuer à chaque couleur en admettant des couleurs intermédiaires qui permettent de donner alors le tableau suivant pour les couleurs franches :

Rouge, — rouge orangé, — orangé, — orangé jaune, — jaune, — jaune vert, — vert, — vert bleu, — bleu, — bleu violet ou indigo, — violet, — violet rouge. — C'est la composition du tableau de M. Chevreul.

S'il n'y a pas de loi pour ce qui a trait à la combinaison et à l'arrangement matériel des objets qui composent un tableau, il existe une loi positive de l'art suivant laquelle on doit voir le modèle et reproduire exactement toutes les modifications qu'il présente; ce sont ici les deux points essentiels de la peinture représentative : cette loi est due à M. Chevreul.

Suivant l'expression de M. Chevreul, le contraste simultané des couleurs est un phénomène qui se manifeste en nous toutes les fois que nous regardons en même temps deux objets différemment colorés, placés l'un à côté de l'autre. Il consiste en ce que la différence de couleur qui peut exister entre les deux objets est augmentée de telle sorte :

1° Que si l'un des objets est plus foncé que l'autre, celui-ci nous paraît plus clair et l'autre plus foncé qu'ils ne le sont réellement;

2° Que les couleurs des deux objets sont elles-mêmes modifiées dans leur nature optique; par exemple, si une feuille de papier bleu est placée à côté d'une feuille de papier jaune, ces deux feuilles, loin de nous paraître tirer sur le vert, comme on pourrait le présumer d'après ce qu'on sait de la production du vert par le mélange du bleu et du jaune, semblent prendre du *rouge*, de sorte que le bleu paraît *violet* et le jaune *orangé*. Par conséquent, dans le contraste simultané des couleurs, la différence du clair et de l'obscur est augmentée comme l'est la différence optique des couleurs.

Avec les ressources du peintre sur porcelaine, il a été démontré par M. Salvetat qu'il est possible d'exécuter soixante et un gammes sur les soixante-douze

dont se compose la table de M. Chevreul. Les douze nuances comprennent les 3e, 4e, 5e violet rouge; le rouge, les 1er, 2e, 3e, 4e, 5e rouges; le rouge orangé, le 1er et le 2e rouge orangé qui n'ont pu jusqu'à présent être exécutés en couleurs vitrifiables. Voici la *table chromatique circulaire* de M. Chevreul.

Cette table est formée sur un cercle d'un diamètre arbitraire, et divisée en douze secteurs égaux. Ces secteurs répésentent autant de *nuances* ou *types de couleurs* différentes, modifiées chacune par une petite quantité d'une autre (1).

On comprend qu'on puisse diviser le cercle en vingt-quatre ou quarante-huit parties égales, et avoir ainsi un nombre de *nuances* double, quadruple, mais M. Chevreul a reconnu que cette multitude de *nuances* serait superflue dans la pratique.

Du centre du cercle on a décrit six circonférences; on a formé ainsi un cercle de noir pur et trois zones séparées l'une de l'autre par le blanc pur, et divisées chacune en douze parties égales.

Dans chaque partie de la zone qui limite le cercle, on a placé une nuance distincte qui tient le milieu entre le *clair* et l'*obscur*, ce qui veut dire que cette couleur est aussi éloignée du blanc que du noir. On peut au besoin ajouter à cette couleur, soit des quantités croissantes de *blanc pur*, pour former une *dégradation* jusqu'à la lumière ou au blanc, soit une couleur brune calcinée, afin de la rehausser et de former une gradation jusqu'au noir.

Chaque couleur, abaissée ainsi par le blanc et montée par le *brun*, se nomme *ton*, et l'ensemble de ces tons constitue une *gamme* de couleur.

Les *gammes* de couleurs sont modifiées ainsi :

1° Les *gammes des couleurs primitives franches*, qui comprennent les couleurs que les artistes appellent *simples*, savoir : le *rouge*, le *jaune*, le *bleu;*

2° Les *gammes des couleurs primitives franches*, dites *composées* ou *complexes*, qui comprennent : l'*orangé*, produit du mélange du rouge avec du jaune ; le *vert*, produit du jaune avec du bleu; le *violet*, produit du bleu avec du rouge; et leurs nuances intermédiaires le *rouge orangé*, l'*orangé jaune*, le *jaune vert*, le *vert bleu*, le *bleu violet*, le *violet rouge ;*

3° Enfin, les *gammes des couleurs* dites *rabattues*, *rompues*, *grises* ou *ternes*, qui sont le résultat du mélange des couleurs *franches* avec du *gris*, depuis le ton le plus clair jusqu'au ton le plus foncé ; c'est pour cela que nous avons placé les gammes rabattues entre les couleurs qui les composent. En définissant ainsi la production de telle ou telle couleur, par le mélange des *couleurs primitives simples*, nous entendons indiquer le mélange des matières que les peintres et les teinturiers emploient comme couleur *rouge*, couleur *jaune* et couleur *bleue*.

Or, comme on ne connaît aucune matière qui présente réellement une couleur primitive, c'est-à-dire qui ne réfléchisse qu'une sorte de rayons colorés, soit le rouge pur, soit le jaune pur, ou le bleu pur, il est évident qu'on ne peut parvenir à construire une table chromatique qu'en combinant certaines couleurs rouges, jaunes, bleues, brunes, et dans des proportions, quant à présent, diffi-

(1) M. Chevreul divise les couleurs en deux groupes suivant les différences qu'elles présentent quand on les considère au point de vue de leur éclat. Le premier groupe comprend les couleurs lumineuses : rouge, orangé, vert, jaune. Le deuxième groupe comprend les couleurs sombres : le bleu le violet, qui, à hauteur égale de ton, n'ont pas l'éclat des premières.

ciles, ou pour mieux dire impossibles à déterminer d'une manière bien précise.

Nous sommes donc fondé à conclure que, parties égales de deux couleurs mélangées ne donnent pas une gamme de couleur intermédiaire bien franche, et que, parties égales de trois couleurs primitives mélangées ne donnent pas le noir pur comme les physiciens l'entendent, mais le plus souvent un gris ou une couleur terne.

Quoi qu'il en soit, on ne peut s'empêcher de reconnaître, comme M. Chevreul le dit avec raison, que la plupart des matières colorantes *bleues*, *rouges* ou *jaunes*, que nous connaissons, ne donnent par leurs mélanges binaires que des violets, des verts, des orangés inférieurs en éclat aux matières colorées qui sont naturellement d'un beau violet, d'un beau vert et d'un bel orangé; ce résultat s'explique facilement si l'on admet avec nous que les matières colorées qu'on mêle deux à deux réfléchissent chacune au moins deux sortes de rayons colorés, et si l'on admet avec les peintres et les teinturiers, que, dès qu'il y a mélange de matières qui réfléchissent séparément du rouge, du jaune et du bleu, il y a production d'une certaine quantité de gris qui ternit l'éclat des matières mélangées. Enfin, il est encore certain, conformément à cette manière de voir, que les *violets*, les *verts* et les *orangés*, qui résultent d'un mélange de matières colorées, sont d'autant plus brillants que les matières mélangées étaient plus rapprochées l'une de l'autre par leurs couleurs respectives; par exemple, que le bleu et le rouge mélangés tiraient davantage chacun sur le violet, que le bleu et le jaune mélangés tiraient davantage sur le vert, enfin, que le rouge et le jaune mélangés tiraient davantage chacun sur l'orangé.

La peinture sur verre se compose essentiellemeut de trois procédés :

1° La peinture des verres colorés en table dans toute leur épaisseur ;

2° L'application des émaux, qui consistait à faire pénétrer la couleur plus ou moins profondément dans le verre, soit sur toute l'étendue de la pièce, soit dans certaines parties colorées en plein, telles que des draperies, par exemple, dans lesquelles on voulait isoler ou des broderies ou des orfrois d'une autre couleur, ce qui nécessitait une nouvelle fusion pour fixer les matières employées dans ce second travail.

Ces émaux s'introduisaient alors dans des entailles destinées à les recevoir, et pratiquées dans le verre au moyen de l'émeri et de l'eau ou par le burin, mais toujours au revers de la couleur couchée sur toute la surface, de peur qu'à la recuisson, qu'il en fallait faire, les contours ne vinssent à se mêler et à se confondre.

L'extension considérable, que Jean de Bruges vint donner à l'emploi des émaux, l'en ont fait considérer comme l'inventeur; mais Bernard Palissy et Pinaigrier élevèrent cette branche de l'art au plus haut degré de perfection.

La troisième manière est la teinture en apprêt, qui, plus simple dans ses appareils et sa manutention, semble néanmoins réunir en elle toutes les ressources de l'art. Elle consiste à employer sur la même pièce de verre, les couleurs les plus variées qu'on y fixe par un fondant en la passant au feu.

Les verriers de la fin du seizième siècle et ceux du dix-septième s'adonnèrent à cette manière de faire, lorsque les troubles civils, joints à d'autres causes, commencèrent à paralyser les grands moyens d'exécution de la peinture sur verre. On

peut donc dire que ce mode d'opérer a laissé de brillants exemples, et que cette méthode de peinture seule, quoique fort légère et toute superficielle, permettait d'obtenir de brillants effets de lumière et offrait d'assez sérieuse garanties de solidité.

Les anciens vitraux n'offraient qu'une agrégation de pièces de fort petites dimensions; ce genre de peinture, dans son enfance, était privé des importantes ressources dont il se prévalut plus tard, telles que l'art d'étendre le verre en grandes feuilles et celui de diriger à propos les coups de feu plus ou moins violents, par l'action desquels les substances colorantes, métalliques ou autres, pénétraient ou teignaient superficiellement les pièces toutes découpées dont devait se composer la verrière. L'absence de ce moyen amenait de fréquentes fractures de ces verres ainsi préparés, verres que l'artiste remplaçait par d'autres avec une plus grande économie de temps et de peine qu'il n'eût pu le faire en reproduisant, sur des plans plus étendus, des travaux plus compliqués. A ces inconvénients il convient d'ajouter ceux qui résultaient des moyens employés pour couper le verre, avant l'usage du diamant qui n'eut lieu qu'au seizième siècle.

La peinture sur verre comporte deux parties bien distinctes : l'une se rapporte au dessin, l'autre à son exécution par le verrier.

Préparation des vitraux. — Pour le dessin, lorsque le carton est fait et ombré, on l'étend (1) sur une table et on le passe au vernis ; il est ordinairement sec au bout de dix minutes ; on peut alors le manier et le rouler sans crainte de l'effacer ; tous les cartons sont classés dans un magasin ; ils servent un grand nombre de fois dans les établissements d'ordre inférieur et organisés au point de vue industriel.

On fait un calque de ce carton, et sur ce calque on découpe les verres pour ne pas détériorer le dessin ; on choisit les couleurs et on contourne le verre sur le profil donné en réservant la place des plombs. On évite de les diviser en suivant des contours délicats ; les angles saillants et déchiquetés des feuilles et des rosaces sont, par exemple, mis en relief par du noir qu'on fait cuire pour fixer les détails.

On procède alors au montage du vitrail pour le peindre. On se sert d'une planche et d'une règle sur laquelle on appuie une ou plusieurs parties du verre qui compose le sujet. On entoure de plomb ces pièces, et on les fixe au moyen de pointes de Paris; on place les portions contiguës et de proche en proche, en contournant les plombs et serrant les lames de verre; on compose tout le vitrail ou les parties de ce vitrail, s'il est possible de les séparer pendant le travail. Les plombs sont coupés aux points qui paraissent les plus convenables pour des soudures. On met de la résine et on soude.

Le vitrail est alors porté dans un atelier spécial où le jour arrive en pleine lumière ; le vitrail est dressé, et les parties par lesquelles la clarté pourrait pénétrer sont tendues de drap noir : on juge mieux de l'effet du travail.

L'artiste monte sur une grande chaise qu'on abaisse ou qu'on élève au moyen

(1) *Notice sur la peinture sur verre*, par Salvétat, chez Lacroix.

d'un treuil, décore et peint les verres de couleur; la couleur est couchée à plat, étendue au pinceau. Avec le blaireau, il dépouille pour faire les demi-teintes, et avec la hampe, il met à nu la surface du verre pour faire les points lumineux. Rarement un feu suffit pour terminer un vitrail. Comme il n'est pas facile de revenir sur des parties ébauchées quand l'ébauche n'est pas cuite, on fixe par une cuisson spéciale ces premières préparations; à cet effet, on démonte le vitrail et on fait passer au moufle les verres qui doivent être cuits. On doit faire en sorte que les parties les plus difficiles à réussir ne passent pas au feu plus de quatre fois. Le verre devient cassant par des cuissons répétées.

Les fours sont des caisses ou moufles en fer de 0m,60 de hauteur sur 0m,80 de largeur et 0m,90 de profondeur; à l'intérieur dix ou douze planchers espacés d'environ 6 centimètres reçoivent les verres disposés sur une couche de craie ou de plâtre tamisé. L'expérience a fait connaître les places où réussissent le mieux les verres d'une nuance donnée; les verres qui correspondent aux chairs et figures sont cuits avec plus de soin, généralement dans des moufles plus petits, à des températures un peu plus élevées. Les glaces peintes se cuisent inclinées à 45 degrés sur une plaque de lave enduite de craie.

Quand toutes les parties du vitrail sont terminées, on les monte d'une manière définitive et on fixe les plombs aux armatures en fer.

Il est assez difficile de donner par aperçu les prix de vente des vitraux. Suivant leur grandeur et la valeur du carton, ils sont chers ou bon marché. Il y en a de 150 francs le mètre carré, d'autres valent 300 francs.

Coloration des verres et des vitraux. — Dans un vitrail, s'il s'agit de colorer un verre blanc ou de modeler une draperie colorée directement sur du verre incolore, la couleur doit être transparente. De là, dans la peinture sur verre, l'emploi généralement simultané de couleurs proprement dites et de certaines de ces matières désignées par M. Salvétat sous le nom d'émaux transparents, ou de *transémaux*.

Il n'y a pas, d'après Brongniart, de combinaison entre l'oxyde colorant et le fondant qui le fait adhérer; il n'y a qu'un mélange. S'il y a combinaison, elle n'est généralement que partielle, et ne peut qu'altérer le ton au lieu de lui donner de l'éclat. Le verre peint est, dans ce cas, le résultat de l'apposition d'oxydes colorants, simples ou composées, sur une lame de verre, apposition rendue permanente par la fusion du fondant, qui, se trouvant en outre en quantité suffisante, englobe et noie toutes les particules colorantes, de manière à les aviver dans leur nuance et à rendre leur surface assez glacée pour ne pas s'altérer sous les injures du temps. Le délayant dans la peinture sur verre n'a qu'un objet momentané, celui de rendre la couleur facilement employable et les retouches possibles; l'application de la chaleur doit le faire disparaître.

Les couleurs vitrifiables doivent être fusibles, inaltérables par les agents atmosphériques, indestructibles sous l'action d'une chaleur déterminée par le ramollissement du verre lui-même. La fusibilité de la couleur se trouve liée d'une manière intime avec son inaltérabilité; elles dépendent l'une et l'autre de la composition chimique du fondant dont on fait usage.

Fondants. — Dans la peinture sur verre deux fondants suffisent :

1° Un fondant général, composé de :

	Grammes.
Sable de Fontainebleau..........	100
Minium..........................	600
Acide borique cristallisé.........	300

Le produit de la fusion de ces trois substances est un verre ambré, qui est coulé sur une plaque, broyé, et mélangé aux oxydes colorants.

2° *Fondant de pourpre.* Le fondant précédent contient trop de plomb pour fournir les pourpres, les carmins avec le précipité pourpre de Cassius, il faut pour ces couleurs un fondant particulier, fourni par la fusion de :

	Grammes.
Sable	400
Minium	300
Borax fondu....................	600

Ce fondant a l'aspect pâteux.

Emaux ou couleurs. — On trouvera dans l'ouvrage de M. Bontemps (1) d'excellentes formules permettant d'obtenir les différentes sortes d'émaux et verres colorés. M. Salvétat (2) indique aussi les compositions suivantes :

« *Noirs.* — Le même oxyde sert pour faire les noirs et les gris ; on fait du gris en mettant la couleur mince ; on fait du noir en soutenant l'épaisseur.

» Lorsqu'on précipite par le carbonate de soude un mélange de sels de protoxyde de fer et de cobalt, et qu'on laisse l'oxydation du composé s'effectuer sous l'influence de l'air atmosphérique, on obtient une combinaison des oxydes de fer et de cobalt qui, suffisamment calcinée, fournit un oxyde noir de très bonne qualité. Voici les doses que j'emploie.

» On prend :

	Grammes.
1 équivalent oxyde noir de cobalt.................	38
2 gr. fer métal = 1 équivalent d'oxyde Fe^2O^3......	56

» On fait dissoudre séparément l'oxyde de cobalt à chaud, le fer métallique à froid, l'un et l'autre dans l'acide chlorhydrique, les deux dissolutions sont étendues d'eau, filtrées et réunies ; on précipite le mélange par le carbonate de soude en léger excès, on lave à grande eau jusqu'à ce que tout l'oxyde de fer ait passé à l'état de peroxyde de fer hydraté, entièrement jaunâtre ; on dessèche et on triture avec deux fois son poids de sel marin ; on calcine dans un têt à rôtir, à une chaleur rouge sombre, on lave à l'eau bouillante et on fait sécher. Enfin quand l'eau de lavage n'enlève plus rien, on calcine de nouveau dans un

(1) Bontemps, *Guide du verrier.*

(2) Salvétat, *Notice sur la peinture*, chez Lacroix, éditeur. Nous avons puisé dans cette notice les renseignements ; l'amitié dont nous a honoré M. Salvétat nous fait un devoir de citer ici cet excellent travail.

creuset à une chaleur très intense. L'oxyde ainsi formé est une combinaison définie qui a pour formule : Fe^2O^3,CoO.

» *Verts.* — L'oxyde de chrome est la base des verts ; on le combine avec l'alumine pour lui donner de la transparence, avec l'oxyde de zinc pour le modifier en jaune, avec l'oxyde de cobalt et l'alumine pour le transformer en vert bleuâtre.

» L'oxyde de chrome se prépare à l'état de sesquioxyde pour les besoins de l'art de la vitrification, en enflammant un mélange d'une partie de soufre pour deux de bichromate de potasse. On place le mélange bien trituré dans un têt à rôtir, on fait au centre une petite cavité qu'on remplit de soufre en fleurs, et auquel on met le feu. Le produit de la combustion au contact de l'air est de l'oxyde de chrome, qu'on lave à l'eau bouillante ; il n'est point nécessaire d'agiter pour renouveler les surfaces du mélange incandescent ; la combustion se propage d'elle-même jusqu'au centre de la masse. L'oxyde de chrome qui résulte de la réduction du chromate de potasse est lavé, séché et calciné de nouveau, pour éliminer un peu de soufre qui n'a pas été brûlé. Il est alors d'un très beau vert.

» Cet oxyde est combiné avec l'alumine pour préparer un vert jaune transparent : on prend de l'alumine hydratée ; quand on précipite en présence de beaucoup d'eau par l'ammoniaque caustique de l'alun ammoniacal ou potassique, on obtient un hydrate d'alumine à 62 pour 100 d'eau. C'est à cet hydrate que j'emprunte l'alumine ; je prends, pour le calciner après porphyrisation 1 équivalent de sexquioxyde de chrome vert, 76 grammes ; 1 équivalent alumine hydratée $Al^2O^3 9HO$, 135 grammes. On lave à l'eau bouillante pour extraire le chromate de potasse qui se forme aux dépens d'un peu de potasse retenue par l'hydrate d'alumine, ou conservé d'abord opiniâtrément par l'oxyde de chrome que les eaux de lavage, même bouillantes, n'en débarrassent pas toujours complètement. Il y a là quelque chose d'analogue à ce que M. Chevreul a désigné sous le nom de *phénomènes de teinture.*

» Le vert bleuâtre s'obtient en suivant la même méthode et d'après les mêmes principes ; on prend :

		Grammes.
1/2 équivalent	sexquioxyde de chrome	38
1 —	oxyde de cobalt	38
1 —	alumine = alumine hydratée	135

On calcine et on lave à l'eau bouillante.

» *Bruns.* — Lorsqu'on combine ensemble le peroxyde de fer et l'oxyde de zinc, en présence de quantités plus ou moins considérables d'oxyde de cobalt ou d'oxyde de nickel, on obtient des oxydes bruns plus ou moins foncés, plus ou moins chauds, qui sont, dans la peinture sur verre, d'une très grande utilité. On prépare ainsi du brun rougeâtre, du brun de bois, du brun-sépia et du brun noirâtre.

» On prépare séparément, pour les réunir ensuite, les dissolutions suivantes dans l'acide chlorhydrique :

	Grammes.
2 équivalents de fer = 1 équivalent sesquioxyde de fer Fe^2O^3.	56
1 équivalent de zinc = 1 équivalent d'oxyde de zinc ZnO...	33

auxquels on ajoute de l'oxyde de nickel ou de l'oxyde de cobalt, 2 grammes. On traite exactement comme il a été dit plus haut pour le noir, à cette exception, toutefois, qu'on néglige la deuxième calcination. L'oxyde lavé, qui a pour formule Fe^2O^3 (ZnO,CoO) ou Fe^2O^3 (ZnO,NiO), est d'un beau brun rougeâtre ; si l'on a fait usage du nickel, le produit est d'un ton plus chaud.

» Le brun de bois et les autres bruns ne diffèrent que par la quantité d'oxyde de cobalt ou d'oxyde de nickel. Voici les dosages :

	Bois.	Sépias.	Noirâtre.
Fer.................	56	56	56
Zinc................	33	33	33
Oxyde (CoO,NiO	4	12	38

» Ce dernier a pour formule Fe^2O^3,ZnO,CoO.

» Dans ces préparations, la nuance brune est maintenue par la présence de l'oxyde de zinc ; en effet, on obtient avec le fer seul et le zinc le ton qu'on nomme brun jaune.

» Ces oxydes exigent, pour leur préparation, du temps et des soins minutieux qui élèvent leur prix de revient au delà de ce qu'il convient à la peinture courante. Aussi se borne-t-on généralement, et surtout pour modeler les surfaces obtenues par les verres teints dans la masse, à l'emplir de brun de fer pur.

» Lorsqu'on calcine la couperose à un feu assez violent, on sait qu'il reste un oxyde de fer violâtre; ce corps n'a plus de transparence, et, mêlé sur le verre à du fondant, il adhère en faisant l'office d'un corps opaque ; il est noir par transparence et sert à faire les ombres des draperies et des chairs.

» *Rouges.* — Les carnations s'obtiennent au moyen du colcotar calciné seulement avec précaution en présence de quantités variables d'alun ou de sulfate d'alumine qui lui communique une certaine translucidité. Cette couleur est l'une des plus délicates de celles qui composent la palette du peintre verrier.

» *Couleur d'or.* — Le précipité pourpre de Cassius sert à obtenir, tout comme dans la fabrication des couleurs de porcelaine, les couleurs dites carmin, pourpre et violet.

» Pour préparer le pourpre de Cassius d'une manière certaine, on prend 144 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 72 centimètres cubes d'acide nitrique. On les mêle ensemble ; on pèse dix fois 2 grammes d'étain pur laminé qu'on met en réserve pour les faire dissoudre dans l'eau régale précédemment indiquée. Pour cela, 120 centimètres cubes d'eau régale sont répartis dans 10 petites bouteilles, 12 centimètres cubes dans chacune; on étend 1 demi-gramme d'eau froide pour modérer l'action, et on ajoute par petites fractions l'étain métallique qu'on a fait laminer pour l'avoir plus facilement soluble. Ce qui

reste d'eau régale est versé sur 3gr,2 d'or pur, et quand la dissolution est complète, on étend d'assez d'eau pour former 500 centimètres cubes ; 50 centimètres cubes de cette dissolution sont étendus de 14 litres d'eau précipités successivement par chaque dissolution d'étain. Les précipités sont mêlés, lavés à l'eau bouillante, et réunis cinq par cinq sur des filtres, pour qu'ils se ressuient. Quand le pourpre est suffisamment raffermi, on étend le filtre sur une glace, le pourpre en contact direct avec le verre ; on essore sur l'envers avec un linge absorbant, et, ramassant le précipité pâteux avec un couteau à palette, on le place dans un vase, et on le recouvre d'eau pour le conserver humide jusqu'au moment où l'on veut le transformer en couleur. On y ajoute alors du fondant et la quantité voulue de chlorure d'argent.

» *Bleu.* — Le plus beau bleu d'application qu'on puisse faire pour peindre le verre est tiré du cobalt : c'est de l'aluminate de cobalt. Rien n'est plus facile que de le préparer ; on fait dissoudre à l'état de nitrate :

1	équivalent carbonate de cobalt........	60
1	— alumine hydratée de 180 à..	135

on évapore à siccité et on calcine. Le résidu bleu qui reste au fond du creuset possède une magnifique nuance outremer qu'on peut rendre turquoise en ajoutant au mélange une petite quantité d'hydrate d'oxyde de chrome. L'aluminate de cobalt ainsi formé correspond à la formule Al^2O^3,CoO.

» *Dépoli.* — Pour terminer ce que nous avons à dire au sujet des oxydes, nous indiquerons la nature du dépoli dont je me suis servi, tant que j'ai préparé des couleurs pour verre. Le dépoli se fait avec du biscuit de porcelaine dure, finement broyé : le fondant qu'on ajoute pour le faire adhérer à la surface du verre le dissémine sur la feuille diaphane, et interposant entre l'œil et la lumière un corps à peine transparent, ce fondant communique une sorte de teinte sourde qui remplit le but proposé.

» On triture :

	Grammes.
Porcelaine pilée................	300
Fondant n° 1 ou 2...............	200

on étend au pinceau putois sur la face du verre qui n'a pas reçu de peinture.

» Couleurs faites. — Lorsqu'on a, d'une part, les fondants fondus et pilés, d'autre part les oxydes dans l'état de pureté que nous venons d'indiquer, rien n'est plus facile que de préparer la couleur ; la prescription est des plus simples, il suffit de broyer sur la glace avec un grand soin :

	Grammes.
Fondant n° 1 ou 2..............	25
Oxyde.........................	10

On obtient ainsi la couleur toute prête à peindre. On verra ressortir la simpli-

cité de ces dosages, en étudiant comparativement l'ouvrage de Levieil que j'ai déjà cité, et le *Manuel du peintre sur verre*, auquel je renverrai surtout pour la partie descriptive de la mise en plomb.

» Les couleurs d'or nécessitent un peu plus de soins et de plus grandes précautions.

» Quand on veut faire du carmin ou du pourpre, on prend l'oxyde que nous avons appris à préparer sous le nom de précipité de Cassius, et on le broie sur la glace avec le fondant dont j'ai donné la composition. On essaye le mélange; si le ton est bon, on le conserve; si la couleur est trop jaune, c'est à l'excès d'argent qu'il faut attribuer cet excès de jaune; si le ton est trop pâle, on ajoute de l'oxyde; s'il ne brille pas, on augmente la dose de fondant.

» Pour préparer le violet, on se sert du même précipité de Cassius, mais on ne met pas d'argent, et on remplace le fondant de pourpre par le fondant n° 1. »

On distingue dans la peinture sur verre des *couleurs vitrifiables molles* et *dures*. Les premières, que l'on nomme aussi laques, ne sont pas très facilement fusibles, et, lorsqu'elles sont vitrifiées, elles possèdent comme les laques appliquées au pinceau de l'éclat et de la transparence, ainsi qu'une grande mollesse; avec ces couleurs on ne peint que sur le côté postérieur des plaques de verre. La dureté et la demi-transparence sont les propriétés principales que doivent avoir les couleurs appliquées sur le côté antérieur de la plaque de verre (couleurs dures ou d'ombres). Les *flux* se composent de silice, de minium et de borax. La couleur mélangée de la manière la plus intime avec le flux est transformée en une poudre très fine, puis broyée avec un véhicule; on l'applique ensuite au pinceau sur le verre, où elle adhère solidement; le verre étant alors porté au feu, le véhicule se volatilise complètement sans que la peinture se boursoufle ou se fende. Le seul véhicule maintenant employé est une huile volatile, l'essence de térébenthine rectifiée ou épaissie; dans le premier cas on la nomme huile claire, et dans le second huile épaisse. Outre l'essence de térébenthine on se sert aussi de l'essence de lavande, de l'essence de bergamotte et de l'essence de girofle. Sur la plaque de verre qui doit recevoir la peinture on exécute sur une face, avec une couleur rouge, noire ou brune, tous les contours et les ombres de l'image, et sur l'autre face on enlumine avec les couleurs qui conviennent à chaque portion de l'image, ou bien on procède avec les couleurs vitrifiables comme dans la peinture à l'huile, ou bien encore on combine les deux procédés, en employant le premier dans un endroit et le second dans l'autre, suivant les effets que l'on veut produire. Toutes les ombres et les couleurs exécutées en couleurs sombres, ainsi que ce que l'on nomme ébauche dans la peinture à l'huile, sont faites sur la face antérieure tournée du côté de l'observateur; toutes les couleurs destinées à enluminer les parties et les flux, surtout les tons principaux, sont appliquées sur la face postérieure. Les teintes moyennes, les passages et les gradations s'appliquent aussi bien sur la face antérieure que sur la face postérieure. Dans quelques cas, des couleurs sont appliquées sur les deux faces aux endroits qui se correspondent, afin de produire par leur combinaison, lorsqu'on regarde par transparence, des nuances particulières. Ainsi du jaune d'or sur une face et du pourpre sur l'autre donnent de l'écarlate; du bleu et du jaune donnent du vert, etc. Avec des verres

doublés on peut produire différentes ombres, en enlevant par polissage avec de l'émeri, plus ou moins, de la couche colorée et en suivant pour cela des contours déterminés, ou bien on polit la couche colorée jusqu'au verre blanc, et l'on produit de cette façon des ornementations colorées sur fond blanc. Les parties blanches ainsi obtenues peuvent aussi être colorées sur le côté opposé pour produire différents effets. De même on peut aussi produire des nuances particulières, en recouvrant avec d'autres couleurs la face blanche d'un verre doublé d'un seul côté, ainsi on produit une nuance verte en recouvrant un verre bleu doublé sur sa face blanche avec une couleur jaune d'argent. D'après une ancienne méthode, on effectuait la cuisson des couleurs dans des chaudières de fer où l'on plaçait les plaques de verre, avec des couches alternatives de poudre de chaux sèche et que l'on chauffait ensuite au rouge. On emploie maintenant dans ce but des fourneaux à moufles. Le fond du moufle est couvert d'une couche de poudre de chaux d'un pouce environ d'épaisseur, sur laquelle on place bien horizontalement les plaques de verre de manière à ce qu'elles ne se touchent pas et qu'elles ne touchent pas le moufle. Sur ces plaques on met une seconde couche de chaux, puis de nouvelles plaques et ainsi de suite, jusqu'au milieu du moufle. Le feu nécessaire pour la cuisson des couleurs doit agir uniformément tout autour du moufle. Lorsque le moufle est au rouge sombre et que les couleurs paraissent fondues et sans défauts sur des plaques d'épreuve, ce qui ordinairement a lieu après un chauffage de six à sept heures, on enlève le feu et on laisse refroidir le moufle. Après le refroidissement complet on retire le verre du moufle, on le nettoie avec de l'eau chaude et on le dessèche avec soin.

CHAPITRE II

TEINTURE DU VERRE

Il existe des procédés de teinture des verres par des méthodes qui rappellent les effets de la cémentation.

On connaît depuis longtemps l'influence qu'exercent les sels d'argent sur certains verres. Lorsqu'on ajoute à du colcotar, à de la terre de Sienne, à de la terre de pipe, du chlorure d'argent ou du sulfure du même métal, et qu'on étend sur une surface de verre le mélange pour le faire cuire à une douce chaleur, si, après le refroidissement, on enlève le principe inerte qui souille la surface vitreuse, on voit celle-ci colorée en jaune plus ou moins intense sur les portions qui avaient été recouvertes.

Tous les verres ne semblent pas également aptes à se colorer ainsi; quelques-uns ne prennent que difficilement une nuance jaune paille, alors que d'autres, au contraire, se colorent fortement en brun jaune, qui peut aller jusqu'au brun de bois.

Salvétat a fait plusieurs analyses pour découvrir à quel principe il fallait attribuer cette propriété du verre de se colorer en jaune sous l'influence de l'oxyde d'argent. On a cru pouvoir en accuser successivement l'oxyde de plomb, l'alumine, la soude et la potasse. Mais, après des tentatives et des recherches nombreuses, Salvétat dut chercher ailleurs la cause de ce phénomène, et il crut pouvoir l'attribuer à la présence, dans le verre fait, de quelques millièmes d'acide arsénieux. Quand l'affinage du verre a fait disparaître jusqu'aux moindres traces de cet agent, le verre ne prend aucune coloration sous l'influence du jaune d'argent, et, dit Salvétat, j'ai vu des verres ne prendre aucune nuance sur des feuilles qu'on avait eu l'obligeance de fabriquer à ma demande, sans faire intervenir l'acide arsénieux dans la fabrication. Le borosilicate de zinc alcalin que prépare la cristallerie de Clichy ne prend aucune teinte avec le jaune d'argent.

Ce verre contient :

	Grammes.
Silice	62,90
Acide borique	5,80
Oxyde de zinc	12,00
Potasse	19,30
	100,00

M. Salvétat n'a pas remarqué qu'il y eût avantage à préférer le sulfure d'argent au chlorure. Ce dernier sel se prépare avec la plus grande facilité. Il suffit, comme on le sait, de précipiter par de l'acide chlorhydrique une dissolution d'argent dans l'acide nitrique, on lave et on dessèche.

On mêle pour faire le jaune d'argent, qu'on nomme aussi jaune Jean Cousin :

	Grammes.
Oxyde de fer	60
Chlorure d'argent	10

On triture. La force de cémentation de cette composition n'est pas épuisée par une première application sur le verre. Après la cuisson, on l'enlève avec une brosse, et pour la faire servir une seconde fois on y ajoute cinq parties de chlorure. On la fait ainsi servir indéfiniment en ajoutant du principe actif.

L'oxyde d'argent n'est pas le seul corps qui puisse teindre le verre par une sorte de cémentation. J'ai vu, dit Salvétat, des spécimens dont j'attribue la coloration à l'oxyde de fer, mais j'ignore par quels procédés ces teintures ont été préparées.

L'oxyde de cuivre peut aussi servir dans des circonstances analogues, mais alors il produit une magnifique couleur rouge-rubis, semblable à celle des verres doublés rouges, obtenus au moyen du protoxyde de cuivre. C'est à la cristallerie Saint-Louis qu'on est redevable de ce procédé, qui nécessite une grande habileté.

Un mélange de craie et de sulfate de cuivre, ou de sulfate de chaux et de sul-

fate de cuivre, est appliqué sur la surface du verre, qui doit être autant que possible exempt d'oxyde de plomb et d'une faible fusibilité. On cuit dans un moufle par les procédés ordinaires; on détache comme pour le chlorure d'argent le corps indifférent qui accompagnait le sulfate de cuivre. La surface du verre est colorée faiblement en une nuance verdâtre sale, qu'il faut convertir en protoxyde de cuivre. On y parvient en cuisant de nouveau le verre dans un moufle au milieu d'une atmosphère réductrice, obtenue généralement par l'introduction des produits fuligineux de la houille, ou de tout autre combustible donnant le moins possible de vapeur d'eau.

Les nuances rouges tirées du cuivre ne rendent pas aux peintres verriers les mêmes services que le jaune Jean Cousin; on le comprend sans peine, à cause des conditions particulières qu'il faut remplir pour ramener et maintenir l'oxyde de cuivre à l'état d'oxydule. Le jaune d'argent, dont on fait un très grand usage, cuit dans les circonstances ordinaires; il peut se mettre à volonté sur une ou sur les deux faces du verre, et servir de la sorte à modifier en jaune les autres tons de la palette; il fait alors l'office de glacis, quoiqu'il soit placé sur la face qui n'a pas reçu de peinture. Beaucoup de verts sont obtenus en couchant ce jaune sous des bleus variés. Quant aux pièces vues par réflexion de la lumière blanche, ce moyen donne du noir. La manufacture des cristaux de Saint-Louis avait exposé, vers 1849, des vases en fond bleu sur lesquels on avait apposé du jaune Jean Cousin; il en résultait des dessins noirs présentant un effet original, et dont il n'était pas facile, de prime abord, d'expliquer la formation.

BIBLIOGRAPHIE DE LA PEINTURE SUR VERRE

THEOPHILI presbyteri et monachi, diversarum artium schedula.

L'ouvrage du moine Théophile, composé au douzième siècle, est le traité le plus complet que nous ayons sur l'état des arts au moyen âge. Le livre II est consacré tout entier à la peinture sur verre.

Il existe cinq manuscrits de Théophile : deux à Cambridge, un à Wolfenbüttel, un à Leipzig et un à la Bibliothèque nationale de Paris.

Lessing a publié, pour la première fois, ce livre, d'après le manuscrit de Wolfenbüttel, avec une introduction de Christian Leiste. In-8°. Brunswick, 1781.

Presque en même temps, R. E. Raspe en insérait une partie dans son ouvrage intitulé: *An Essay on Oilpainting*, in-4°. Londres, 1781.

L'édition qu'en a donnée M. le comte Charles de l'Escalopier est remarquable par les notes qui l'accompagnent, par la savante introduction due à J. Marie Guichard et même pour le luxe typographique. Elle a été collationnée avec soin sur tous les manuscrits et est accompagnée d'une traduction française fort exacte. 1 vol. in-4°. Paris, 1843.

En 1847, M. Robert Hendrie a découvert dans la bibliothèque Harléienne, à Londres, un manuscrit que M. de l'Escalopier n'a pas connu, et ce manuscrit, qui date de la fin du douzième siècle, contient quarante-trois chapitres inédits. M. R. Hendrie a traduit en anglais et annoté ce Théophile complet; il a fait paraître sa traduction, accompagnée du texte latin, en un volume in-8° de XLI-447 pages, avec fac-similés des manuscrits de Vienne, de la bibliothèque Harléienne et de la Bibliothèque nationale de Paris.

M. l'abbé J. J. Bourassé a également donné une traduction de l'ouvrage du moine Théophile à la suite de son *Dictionnaire d'archéologie sacrée*, publié en 1863 dans la collection de M. l'abbé Migne.

Enfin, en 1876, M. G. Bontemps a traduit le deuxième livre seul, verre et vitraux, de l'*Essai sur divers arts*, en une brochure in-4° de 52 pages. Cette traduction, au point de vue technique, est préférable à toutes les autres.

ANDRÉ FÉLIBIEN. — Des principes de l'architecture, de la sculpture et de la peinture; in-4°, fig. Paris, 1676. (Le chapitre XXI est consacré à la vitrerie et à la peinture sur verre.)

LEVIEIL. — L'art de la peinture sur verre et de la vitrerie; 1 vol. in-f° avec planches. Paris, 1774.
A. LENOIR. — Traité de la peinture sur verre. Paris, 1803. Nouvelle édition in-8° de 158 pages. Paris, 1856.
BASTENAIRE-DAUDENARE. — L'art de la vitrification; in-8°. Paris, 1825.
BRONGNIART. — Mémoire sur la peinture sur verre; in-8° de 29 pages. Paris, 1829.
LANGLOIS (du Pont-de-l'Arche). — Essai historique et descriptif sur la peinture sur verre; in-8° de 300 pages et 7 planches. Rouen, 1832.
THIBAUD (Émile). — De la peinture sur verre; notice historique sur cet art dans ses rapports avec la vitrification; in-8° de 31 pages et 1 planche. Clermont-Ferrand, 1835.
— Considérations historiques et critiques sur les vitraux anciens et modernes et sur la peinture sur verre; in-8°, 4 planches. Clermont, 1842.
THÉVENOT. — Recherches historiques sur la cathédrale de Clermont, suivies d'un plan de restauration de ses vitraux; in-8° de 43 pages et 2 planches. Clermont, 1836.
— Essai sur le vitrail, ou observations critiques et historiques sur la peinture sur verre; in-8°. Clermont, 1837.
DIDRON AINÉ. — Rapport à M. le ministre de l'instruction publique sur les vitraux de Montfort-l'Amaury; in-8° de 8 pages. Paris, 1839.
— Verrières de la Rédemption à Notre-Dame de Châlons-sur-Marne; in-8° de 39 pages. Paris, 1863.
— Divers articles sur la peinture sur verre dans les *Annales archéologiques*.
LASTEYRIE (Ferdinand de). — Histoire de la peinture sur verre d'après ses monuments en France; 2 vol. in-f°, dont l'un de VIII-316 pages de texte, et l'autre de 110 planches coloriées à la main. Paris, 1837-1857.
— Quelques mots sur la théorie de la peinture sur verre; in-8° de 168 pages. Paris, 1852.
— Notice sur les vitraux de l'abbaye de Rathausen (canton de Lucerne); in-8° de 49 pages. Paris, 1856.
— La peinture sur verre au dix-neuvième siècle. Grand in-4° de 16 pages et de 3 gravures. 1861.
— Les peintres verriers étrangers à la France; in-8° de 66 pages. Paris, 1880.
VIGNÉ. — Peinture sur verre; in-8° de 51 pages. Paris, 1840.
MARTIN (Arthur) et CAHIER (les RR. PP). — Monographie de la cathédrale de Bourges, vitraux du treizième siècle. 2 volumes in-f°, l'un de texte, l'autre contenant 74 planches presque toutes coloriées. Paris, 1841-1844.
DE LA SICOTIÈRE (Léon). — Notice sur les vitraux de l'église Notre-Dame d'Alençon; in-8° de 15 pages. Caen, 1842.
G. LETTU. — Muséum sacré, ou description de l'église métropolitaine d'Auch. Grand in-f°, planches au trait.
REBOULLEAU, de Thoiras. — Nouveau manuel complet de la peinture sur verre, sur porcelaine et sur émail; in-12 de 419 pages, fig. Paris, 1843.
MEUNIER. — Notice sur la peinture sur verre ancienne; la fabrication des couleurs et la construction du four; in-8° de 16 pages. Paris, 1843.
BATISSIER. — Histoire du verre et des vitraux peints (publiée en 1843, dans le *Cabinet de l'amateur et de l'antiquaire)*.
BONTEMPS (Georges). — Peinture sur verre au dix-neuvième siècle; in-8° de 45 pages. Paris, 1845.
— Examen historique et critique des verres, vitraux et cristaux à l'Exposition universelle de 1851, à Londres; in-8° de 125 pages. Paris et Londres, 1851.
— Rapport sur les vitraux à l'Exposition universelle de 1867 à Paris; in-8°. Paris.
BERTRAND. — Peinture sur verre. Notice et rapport sur divers vitraux modernes exécutés à Troyes; in-8° de 49 pages. Troyes, 1845.
TEXIER (l'abbé). — Histoire de la peinture sur verre en Limousin; in-8° de 111 pages et plusieurs planches. Paris, 1847.
— Origine de la peinture sur verre. Système inconnu de vitraux romans; in-8° de 12 pages, avec planches. Paris, 1850.
BARTHÉLEMY (A. de). — Lettre sur les anciens peintres verriers de Tréguier; in-8° de 11 pages. Paris, 1847.
RAPPORT du jury sur le concours ouvert pour la restauration des vitraux de la Sainte-Chapelle; in-4° de 11 pages. Paris, 1847.
TROCHE (N. M.). — Mémoire sur la chapelle de la Sainte Vierge de l'église de Saint-Germain l'Auxerrois, à Paris, et sur l'ornementation architecturale, les peintures et les vitraux dont on vient de la décorer; in-8° de 14 pages et 1 planche. Paris, 1848.
GUERBER (l'abbé). — Essai sur les vitraux de la cathédrale de Strasbourg; in-8° de 124 pages et 4 planches en couleur. Strasbourg, 1848.

Marchand et les abbés **Bourassé** et **Manceau**. — Verrières du chœur de l'église métropolitaine de Tours; in-f° avec planches en couleur. Tours, 1848.
Hucher (E.). — Études artistiques et archéologiques sur le vitrail de la rose de la cathédrale du Mans; in-8° de 28 pages, fig. Caen, 1848.
— De l'étude des plus anciens vitraux peints; in-8° de 7 pages. Paris, 1855.
— Calques des vitraux peints de la cathédrale du Mans; in-folio maximo de 100 planches coloriées, avec texte historique et descriptif. Paris et le Mans, 1864.
Barraud (l'abbé). — Description des vitraux des deux grandes roses de la cathédrale de Beauvais; in-8° de 24 pages et 1 planche. Beauvais, 1850.
— Description des vitraux de l'église Saint-Étienne de Beauvais; in-8° de 61 pages. Beauvais, s. d.
Lacroix (Paul) et **Séré** (F.). — Le Moyen âge et la Renaissance. Un chapitre important du tome V de cet ouvrage est consacré à la peinture sur verre; in-4°. Paris, 1851.
Charles (L.). — Ateliers de verriers à la Ferté-Bernard, à la fin du quinzième siècle et au seizième siècle; in-8° de 40 pages. Le Mans, 1851.
— La peinture sur verre au seizième siècle et à notre époque. Recherches sur les anciens procédés; in-8° de 56 pages. Le Mans, 1860.
— Verriers et vitraux au seizième siècle, à propos du peintre Jean Cousin; in-8° avec 1 planche. S. l. n. d.
— De la conservation et de la restauration des anciens vitraux; in-8° de 23 pages. Paris et Caen, 1858.
— Le vitrail absidal de Notre-Dame de la Cour (Côtes-du-Nord); in-8° de 11 pages. Tours, 1879.
Amé (Émile). — Anciens vitraux incolores du département de l'Yonne; in-4° de 12 pages et 6 planches. Paris, 1852.
— Monogramme d'un peintre verrier du quinzième siècle; in-4° de 6 pages et 1 planche en couleur. Paris, 1854.
Lami de Nozan. — De la peinture sur verre. Que doit-elle être au dix-neuvième siècle? in-4° de 30 pages. Toulouse, 1852.
Lemaitre (Mme Philippe). — Notice sur les vitraux de Saint-Ouen de Pont-Audemer; in-8° de 111 pages. Rouen, 1853.
Lecomte (l'abbé F.). — La Ferté-Milon. Vitraux des églises. Première partie: Notre-Dame; in-8° de 74 pages. Laon, 1854.
Straub (l'abbé). — Notice sur les verrières de l'église de l'ancien convent de Sainte-Marie-Madeleine à Strasbourg; in-8° de 17 pages. Strasbourg, 1856.
— Analyse des vitraux de l'ancienne collégiale de Haslach et de l'ancienne abbaye de Walbourg; in-8° de 68 pages. Caen, 1860.
Brullée (l'abbé). — Description des verrières de la cathédrale de Sens; in-8° de 55 pages.
Canéto (l'abbé). — Sainte-Marie-d'Auch. Atlas monographique de cette cathédrale; in-f° de 158 pages, avec de nombreuses planches de vitraux gravées au trait. Paris, 1857.
Chaubry de Troncenord (baron de). — Recherches sur les peintres verriers champenois; in-8° de 17 pages. Châlons, 1857.
Tourneur (l'abbé). — Histoire et description des vitraux et des statues de l'intérieur de la cathédrale de Reims; in-8° de 77 pages et 2 planches. Reims, 1857.
Barthélemy (Ed. de). — Les vitraux des églises de Châlons-sur-Marne; in-8° de 48 pages. Paris, 1858.
Coffinet (l'abbé). — Peintres verriers de Troyes; in-4° de 36 pages et nombreuses gravures dans le texte. Paris, 1858.
Tridon (l'abbé). — Description iconographique des trois principales verrières de la chapelle d'Hervé, à la cathédrale de Troyes; in-8° de 23 pages. Troyes, s. d.
Leroy (F.-N.). — Essai sur les vitraux de Blosseville et de Bosville, près Cany; in-8° de 127 pages. Rouen, 1860.
Coussemaker (E. de). — Vitraux peints et incolores des églises de la Flandre maritime; in-8° de 19 pages et 5 planches. Lille, 1860.
Petit-Gérard. — Quelques études sur l'art verrier et les vitraux d'Alsace; in-8° de 31 pages et 2 planches. Strasbourg, 1861.
Pottier (André). — Description d'une verrière de l'église Saint-Vincent de Rouen, représentant une allégorie mystique; in-8° de 23 pages. Rouen, 1862.
Didron (Édouard). — Les vitraux du Grand-Andely; in-4° de 36 pages et 2 planches. Paris, 1863.
— Les vitraux à l'Exposition universelle de 1867, à Paris, in-4° de 62 pages. Paris, 1868.
— Articles sur les vitraux dans les *Annales archéologiques*.
— Les nouvelles verrières de la cathédrale d'Anvers. Deux brochures in-8° de 16 et 32 pages. Anvers, 1873.

— Rapport sur les cristaux, la verrerie et les vitraux à l'Exposition universelle de 1878 à Paris; in-8° de 90 pages. Paris, 1880. (En collaboration avec M. Clémandot.)

BALTARD (Victor). — De la peinture sur verre; in-8° de 17 pages. Paris, 1864.

SCHAUENBOURG (baron P. R. de). — La peinture sur verre; in-8° de 29 pages. Strasbourg, 1865.

BAUDRY (Paul). — L'église paroissiale de Saint-Patrice de Rouen. Description des vitraux; in-18 de 76 pages. Rouen, 1869.

LAFAYE. — Mémoire sur l'état des vitraux anciens dans les églises de Paris; in-8° de 100 pages. Paris, 1871. — Le même auteur avait déjà publié deux brochures in-4°: l'une, en 1849, sur les vitraux de Saint-Étienne du Mont, à Paris; l'autre sur les vitraux à l'Exposition universelle de 1851, à Londres.

SOUBIELLE (l'abbé). — La chapelle du petit séminaire de Larressore. Description des vitraux; in-8° de 60 pages. Paris, 1872.

LABARTE (J.). — Les arts industriels au Moyen âge et à la Renaissance. La peinture sur verre tient une place importante dans le 2° volume de cet ouvrage; in-4°, 2° édition. Paris, 1873.

LUCOT (l'abbé). — Verrières absidales de Notre-Dame en Vaux, à Châlons-sur-Marne; in-8° de 16 pages. Châlons, 1873.

VEUCLIN (E.). — Quelques mots sur les vitraux anciens de l'église paroissiale d'Orbec; in-8° de 16 pages. Orbec, 1878.

CHAULNES (le duc de). — Notice sur les vitraux de l'église Notre-Dame de Sablé; in-8° de 29 pages et 9 planches, dont 5 en chromolithographie.

LATTEUX — Mémoire sur les anciens vitraux du Nord et du Pas-de-Calais; in-8° de 36 pages, plusieurs planches.

LACHOT (l'abbé). — Notice sur les verrières de l'église de Seurre (Côte-d'Or); in-8° de 59 pages. Cîteaux, 1882.

RICARD (l'abbé Antoine). — La nouvelle église de Saint-Vincent de Paul, à Marseille (description, verrières, etc.); in-8° de 32 pages. Marseille, 1882.

A. DE FLORIVAL et MIDOUX. — Les vitraux de la cathédrale de Laon. Petit in-folio 1er fascicule de 126 pages, orné de nombreuses planches. Paris, 1882.

Les monographies de la cathédrale de Chartres et de Notre-Dame de Brou, ainsi que la monographie de la cathédrale de Lyon, par M. Bégule, contiennent de nombreuses planches en noir et en couleur des vitraux de ces édifices.

L. LÉVY. — Histoire de la peinture sur verre en Europe et particulièrement en Belgique. Bruxelles. 1860.

L. MAGNE. — Œuvre des peintres-verriers français. Paris, 1885, Firmin Didot.

HAUDICQUER DE BLANCOURT. — L'art de la verrerie. 2 in-12, Paris, 1718.

ALEXANDRE LE NOIR. — Observations sur la peinture sur verre et ses différents procédés.

— Observations critiques sur une nouvelle exposition de peinture sur verre. 1827.

DIDRON. — Notre-Dame de Brou. Paris, 1842.

P.-E. CARTHAILHAC. —Histoire de la peinture sur verre. (Brochure sans date).

P. FLAMM. — Le verrier du XIX° siècle. In-8°, Nancy, 1862.

J. GÉRIN. — Le vitrail de Saint-Louis, peint par Claudius Lavergne pour Notre-Dame de Senlis. Senlis, 1864.

— Le vitrail moderne. Senlis, 1875.

P. DURAND. — Monographie de Notre-Dame de Chartres. Paris, 1881.

Abbé BLANQUART. — Vitraux de Gisors. Pontoise, 1884.

LOUIS REGNIER. — La Renaissance dans le Vexin. Pontoise, 1886.

Abbé PORÉE. — Un vitrail de Conches. Tours, 1887.

NOEL LAVERGNE. — L'art des vitraux. Beauvais, 1891.

Abbé PIHAN. — Étude sur les vitraux. Beauvais. 1891.

O. MERSON. — Les vitraux. Paris, 1894, ancienne maison Quantin.

W. FRŒHNER. — La verrerie antique. Description (texte et planches) de la collection Charvet. In-f°, Le Pecq, J. Charvet, château du Donjon, 1879.

OUVRAGES ÉTRANGERS

REIFFENBERG (baron de). — De la peinture sur verre aux Pays-Bas; in-4° de 75 pages. Bruxelles, 1832.

OWEN CARTER. — A series of the ancient painted glass of Winchester cathedral. 1 vol. in-4° avec planches coloriées. Londres, 1845.

WEALE (John). — Divers works of early masters in christian décoration. 2 vol. in-f°. Londres, 1846. (Les planches en couleur représentent les vitraux de Saint-Jacques de Liège, en Belgique, de Gouda, en Hollande, et quelques vitraux anglais.)

PAINTED AND STAINED GLASS AT GOUDA. — Onze planches petit in-folio gravées à l'aquatinte.
CAPRONNIER, DESCAMPS et LEMAISTRE D'AUSTAING.— Vitraux de la cathédrale de Tournay. Grand in-f° avec planches coloriées à la main, 1847.
HEDGELAND. -- Description of the windows of Saint-Neot's church, Cornwall.
EGGERT. — Die glasgemalde der neuerbauten Mariahilf-Kirche in der Vorstadt Au, in München. Grand in-f°, 7 planches.
AN AMATEUR. — An inquiry into the difference of style observable in ancient glass paintings, especially in England, with Hints ou glass painting. 2 vol in-8°, texte et planche. Oxford, 1847.
SCHAW'S. — Glaziersbook. 1 vol. in-8°, 117 planches. London, 1848.
H. SHAW. — A Booke of sundry Draights. — Principally serving for glasders, etc., 1848.
WARRINGTON (William). — The history of stained glass from the earliest period of the art to the present time; in-f° de 100 pages de texte et de 24 planches en couleurs.
FROMBERG. — Essay on the art of painting on glass; traduit de l'allemand en anglais; in-18 de 116 pages. Leipzig, 1851.
GESSERT. — Rudimentary treatise on the art of painting on glass; in-18 de 90 pages. Weale's Séries, 1851.
PARKER (J. H.). — Lettre à sir Henry Ellis sur un spécimen de vieille peinture sur verre de la cathédrale du Mans; in-4°, 1 planche.
WOLLASTON FRANCKS (Augustus). — Ornamental glazing quarries; 1 vol. in-8° de 33 pages et 112 planches.
OLIPHANT (W.). — A plea for painted glass; in-32 de 72 pages.
LÉVY et CAPRONNIER. — Histoire de la peinture sur verre en Europe, comprenant une analyse descriptive des vitraux de Belgique. 1 vol. in-4°, planches coloriées, 1854-1859.
CAMESINA (Albert). — Die ältesten glasgemälde des chorherrenstiftes Klosterneubourg. Grand in-4° de 34 pages et 27 planches. Vienne, 1857.
RAHN (J.-R.) — La Rose de la Cathédrale de Lausanne (traduit de l'allemand par William Cart); pages et 9 blanches; Lausanne, 1879.
HAUDICQUER de BLANCOURT. — Art of glass, with the method of Painting on glass and Examelling, 1696.
A.-W. FRANKS. — Book of ornamental glazing quarries (one hundrer and twelre tinted plates of Painted glass) 1849.
Mrs. MERRIFIELD. — Art of Painting on glass (Original Treatises, etc.) 1849.
N.-H.-G. WESTLAKE. — A. History of design iu Painter glass, 2 vols, 4 to, 1882.
N. WHITTOCK. — The decorative Painted and glazier'r crinde. 1841.
C. WINSTON. — Different styles of ancient Painted glass. 1867.
— Hints on glass Painting. 1847.
— Introduction to the study of Painted glass, etc. 1849.
— Mémoirs illustrative of the art of glass Painted. 1865.

VITRAUX LES PLUS REMARQUABLES DE TOUTES LES ÉPOQUES ET DANS TOUS LES GENRES

ONZIÈME SIÈCLE

Abbaye de Tegernsée (Bavière). — Dès la fin du douzième siècle (999), un comte Arnold avait donné des vitraux à l'abbaye de Tergernsée. Ce sont les plus anciens vitraux que l'on connaisse. Il y reste aussi cinq fenêtres peintes par le moine Wernher, de 1068 à 1091.
Hildesheim (Hanovre). — On trouve des verrières qu'on croit avoir été peintes, de 1029 à 1039, par un nommé Buno.

DOUZIÈME SIÈCLE

Cathédrale d'Angers. — Il y a dans la nef de la cathédrale d'Angers des verrières dont la fondation a eu lieu de 1125 à 1130.
Cathédrale du Mans. — Vitraux de la chapelle absidale. Plusieurs de ces vitraux sont les plus anciens que l'on connaisse en France ; M. Hucher les fait remonter à 1109, mais il serait possible de les attribuer au onzième siècle.
Saint-Remi, de Reims. — Les anciens vitraux de cette église sont du douzième siècle, sans contredit, et même de la première moitié. Le Crucifiement placé au fond de l'abside est fort remarquable.
Cathédrale de Chartres. — Les trois magnifiques verrières de la façade principale.

Abbaye de Saint-Denis (près Paris). — On y voit, au fond du chœur, plusieurs fenêtres fondées par l'abbé Suger, qui s'y est fait représenter lui-même aux pieds de la sainte Vierge ; c'est le plus ancien portrait sur verre que nous ayons. Parmi ces verrières, on trouve aussi le plus ancien arbre de Jessé et le plus ancien vitrail d'ornements que possède la France.
Goslar (dans le Hartz). — Vitraux fondés en 1188, où l'on voit les portraits des empereurs Conrad Ier, Henri III, Henri IV et Frédéric Ier.

TREIZIÈME SIÈCLE

Cathédrale de Chartres. — C'est le type le meilleur qu'on puisse offrir à l'étude, attendu que cet admirable monument renferme des spécimens de tous les genres : grandes figures, vitres légendaires, grandes et petites roses, galeries, portraits, figures de donateurs, blasons, inscriptions, grisailles, etc., et particulièrement un choix de bordures très remarquables.
Cathédrale de Rouen. — Belle vitrerie, au milieu de laquelle se trouve le plus ancien vitrail signé que l'on connaisse.
Cathédrale de Reims. — Très belle composition d'ensemble.
Cathédrales d'Amiens, de Bourges, de Lyon, du Mans, de Sens, etc.
Cathédrale de Poitiers. — Type d'un style particulier à cette partie de la France et dont il reste peu de monuments.
Cathédrale de Strasbourg. — Figures très curieuses par leur caractère byzantin, très différent et en apparence plus ancien que les verrières du même temps qu'on voit dans l'ouest ou le centre de la France.
Sainte-Chapelle de Paris. — On peut la donner comme le type le plus complet du style légendaire.
Cathédrales de Troyes, de Tours, d'Auxerre, de Clermont, d'Angers. — Très remarquables au second rang.
Cathédrale de Cantorbury. — C'est le plus beau type que possède l'Angleterre. Quelques-uns de ses vitraux pourraient même remonter à une époque plus ancienne.
Cathédrale de Salisbury.
Saint-Cunibert de Cologne. — Vitraux du milieu du treizième siècle.
Cathédrale de Münster (Westphalie).

ROSES

Notre-Dame de Paris. — Les trois roses du portail et des transepts sont au nombre des plus grandes et des plus belles qu'on puisse voir.
Cathédrale de Reims.
Cathédrale de Soissons.

GRISAILLES

Saint-Urbain de Troyes. — On y voit de jolis exemples de grisailles d'ornements, mélangés de parties en couleur.
Cathédrale de Tours.
Sainte-Radegonde de Poitiers. — Figures en couleur sur fond de grisaille.

QUATORZIÈME SIÈCLE

Cathédrale de Strasbourg. — Immense et très curieuse vitrerie, dont presque toutes les parties furent fondées sur la limite du treizième siècle. Premiers exemples de légendes, dont les sujets sont juxtaposés ou superposés sans encadrements ni séparation. Grandes figures très curieuses pour les costumes.
Église de Nieder-Hasslach (Bas-Rhin). — Autre type très curieux d'un art qui paraît avoir été très florissant en Alsace au quatorzième siècle. Le style légendaire y est plus habilement traité qu'à Strasbourg, et l'éclat des couleurs y est fort remarquable.
Cathédrale de Beauvais. — Verreries très caractérisées.
Cathédrale d'Évreux. — Dessin fort soigné pour cette époque.
Cathédrales de Carcassonne et de Narbonne. — Types intéressants pour l'histoire de la peinture sur verre dans le midi de la France.
Cathédrale de Limoges. — De même pour le centre de la France.
Cathédrale de Lincoln et de Herreford.
Cathédrale d'Orvieto. — Verrières de 1377.
Chapelle Merton, à Oxford.
Abbaye de Sainte-Croix) dans la Basse-Autriche). — Portraits de plusieurs princes de la maison d'Autriche.

Oppenheim (près Mayence).
Wilsnack (province de Brandebourg). — Fin du quatorzième siècle

GRISAILLES

Cathédrale de Chartres. — On y trouve la plus ancienne grisaille à figures qui soit parvenue jusqu'à nous.
Cathédrale d'York. — Très beaux spécimens d'entrelacs, accompagnés de parties colorées.

ORNEMENTS

Saint-Thomas de Strasbourg. — Cette église, actuellement affectée au culte protestant, offre de très beaux modèles d'ornements de couleur.
Cathédrale de Toul.

QUINZIÈME SIÈCLE

Cathédrale d'Évreux. — Verrières historiques très remarquables par la finesse de l'exécution et intéressantes par le choix des sujets.
Bourges. — Fragments curieux provenant de la Sainte-Chapelle des Ducs et de l'ancien hôtel de Jacques Cœur.
Cathédrales du Mans et de Tours.
Sainte-Chapelle de Riom. — Vitrerie de la plus grande beauté et d'un ensemble remarquable.
Cathédrale de Metz. — Immense verrière du transept oriental.
Saint-Ouen de Rouen. — Ensemble de vitrerie curieux par sa composition.
New-College (le Collège-Neuf) à Oxford.
Cathédrale d'York. — Superbe vitrerie caractérisée. La maîtresse vitre est une des plus belles qu'on connaisse, et l'une des plus grandes verrières qui existent en Europe.
Église de Nettlestead (Kent). — Beau modèle de la vitrerie d'une petite église.
Werben (Haute-Saxe). — Verrières d'un grand caractère et d'une riche coloration.
Cathédrales d'Ulm, de Munich et de Nuremberg.
Dominicains de Pérouse.
Église paroissiale d'Arezzo.

VITRES LÉGENDAIRES

Église de Walbourg (Bas-Rhin). — On trouve dans cette jolie petite église de charmants vitraux légendaires parfaitement conservés.

ROSES

Cathédrale de Tours.
Sainte-Chapelle de Paris. — Rose très finement peinte, mais dont la pâle harmonie forme un fâcheux contraste avec le ton des verrières du treizième siècle.

GRISAILLES

Grimberg (près Glogau, en Silésie).

SEIZIÈME SIÈCLE

Rouen. — La Normandie renferme une foule de monuments très curieux de cette époque, parmi lesquels il faut citer à Rouen : la cathédrale, les églises de Saint-Patrice, Saint-Godard, Saint-Vincent, Saint-Maclou, Saint-Romain, et dans le reste de la province les églises suivantes :
Alençon, Pont-Audemer, Caudebec, Pont-de-l'Arche, etc.
Conches. — Est peut-être celle des églises de Normandie qui possède la vitrerie à la fois la plus complète et la plus remarquable.
La Ferté-Bernard (Sarthe).
Beauvais. — Centre d'une école de peintres sur verre qui a produit des chefs-d'œuvre.
Saint-Gervais, à Paris. — Contient des œuvres de Robert Pinaigrier et de Jean Cousin, les deux plus illustres représentants des deux grandes écoles de peinture sur verre qui existaient alors simultanément.
Sainte-Chapelle de Vincennes. — Due entièrement à Jean Cousin.
Cathédrale de Bourges. — Vitraux du style le plus pur.
Limoges. — Belles verrières du genre mixte dans plusieurs églises.
Cathédrale d'Auxerre. — Grandes compositions, d'une exécution fort remarquable.

Châlons-sur-Marne. — Plusieurs églises de cette ville, et notamment Notre-Dame, renferment de belles peintures sur verre.

Cathédrale de Metz. — Le chœur et le transept méridional sont garnis de vitraux d'un admirable éclat et d'un caractère très particulier. La fenêtre du transept est la plus grande et l'une des plus belles qui existent en France.

Église de Brou, près Bourg (Ain). — Cette église célèbre renferme les peintures sur verre les plus parfaites peut-être qu'ait produites le seizième siècle.

Cathédrale de Quimper. — Belle vitrine qui est, en quelque sorte, le type des verrières si nombreuses fondées en Bretagne à cette époque.

Cathédrale d'Auch. — Vitrerie du chœur très complète, d'un bel ensemble et d'une superbe couleur, mais au-dessous de sa réputation quant au dessin.

Chapelle du château de Champigny (Indre-et-Loire). — Vitrerie remarquable, surtout par une suite d'excellents portraits des princes et princesses de la famille de Bourbon-Montpensier.

Sainte-Gudule (de Bruxelles). — Beaux modèles de grande décoration; verrières fondées par divers souverains.

Saint-Jacques de Liège. — Beaux vitraux fondés vers l'an 1525.

Cathédrale de Lichfield. — Vitraux provenant de l'abbaye d'Herkenrade, en Belgique.

Cathédrale de Winchester. — Très bel ensemble.

Église de Fairford (dans le comté de Glocester).

Cathédrale de Nuremberg. — Beaux portraits de l'empereur Maximilien, de sa femme et du margrave de Brandebourg.

Église Sainte-Catherine à Brunswick. — Vitres très brillantes de couleurs, dont le dessin rappelle la manière d'Albert Dürer.

Arezzo (en Toscane). — Superbes vitraux peints par un artiste français.

Cortone. — Vitraux français et italiens.

Cathédrales de Burgos, de Séville et de Tolède.

Église de Cuença.

VITRES LÉGENDAIRES

Sainte-Foy de Conches (Eure).
Eglise de Ferrières (Loiret).
Eglise de Montierender (Haute-Marne).
Saint-Étienne de Beauvais.
Montfort-l'Amaury (Oise),

ROSES

Cathédrales de Sens et de Reims.

MAITRESSES VITRES

Abbaye de Westminster, à Londres.

Cathédrales de Quimper et de Dol. — On en voit également de fort belles dans un grand nombre d'églises de la Bretagne.

VITRAUX DE GENRE, DITS VITRAUX SUISSES

Maison de l'Arquebuse, à Zurich. — Blasons de tous les cantons.

Diverses maisons publiques ou particulières à Coire (Suisse).

Maison particulière à Horb (Würtemberg). — Sujets tirés de l'histoire de la Suisse: le serment du Grütli, la bataille de Morat, etc.

GRISAILLES

En fait de grisailles, on ne pourrait rien citer de plus beau que la suite des Amours de Psyché, peinte par Bernard de Palissy pour le château d'Écouen (1). Quelques panneaux d'ornements aux armes du connétable de Montmorency, et provenant de la même source, sont conservés au musée de Cluny.

(1) Peu de vitraux ont eu une destinée aussi aventureuse. Enlevés d'Écouen à l'époque de la Révolution, recueillis au Musée des monuments français, puis rendus au vieux duc de Bourbon, qui les laissa pendant longtemps abandonnés sous une remise de son hôtel, ces charmants vitraux ont enfin trouvé un appréciateur dans la personne de leur nouveau propriétaire, M. le duc d'Aumale. Ce prince les a fait transporter à Chantilly.

DIX-SEPTIÈME SIÈCLE

Paris. — Est une des villes où l'on trouve le plus de verrières de cette époque.
A Saint-Eustache, grandes figures.
A Saint-Étienne du Mont, peintures en apprêt d'une exécution très finie, et avec de petites figures.
A Saint-Sulpice, verrières à fond de verre blanc; époque de décadence.
Troyes. — On voit également des verrières de cette époque dans plusieurs églises de Troyes qui avait alors de célèbres peintres verriers.
Église Saint-Aignan, à Chartres.
Cathédrale de Bourges. — Beaux portraits.
Cathédrale de Toulouse. — Grandes figures.
Cathédrale d'Auch. — Verrières blanches à bordures.
Guilfort (comté de Surrey, en Angleterre). — Chapelle de l'hôpital de l'archevêque Abbot.
Oxford. — Vitres de la chapelle de l'Université, peintes en 1687.
Eglise Saint-Laurent, à Nuremberg.
Eglise de Gouda, en Hollande. — Les verrières de cette église jouissent d'une célébrité, un peu exagérée; il y a du seizième et du dix-septième siècle. Elles sont loin d'avoir toutes la même valeur, mais elles présentent cet intérêt particulier d'être, par exception, d'origine protestante.

ROSES

Cathédrale d'Orléans.— Armoiries, chiffres et emblèmes de Louis XIV.

VITRAUX DU GENRE SUISSE

Bibliothèque de Strasbourg. — Charmante suite de petits vitraux peints par les frères Linck, et provenant du cloître de l'abbaye de Molsheim. Ils représentent, entre autres sujets, la vie des Pères du désert, et présentent aussi de nombreux spécimens de paysage.
Bibliothèque de Troyes. — Vitraux d'un grand mérite provenant de l'hôtel de l'Arquebuse, de la même ville.
Coire, en Suisse. — Sujets et blasons.

NOTA. — Les vitraux suisses sont presque les seuls qui se trouvent dans les collections particulières; c'est aussi là qu'il faut chercher les plus jolis.

DIX-HUITIÈME SIÈCLE

Paris. — Plusieurs églises de cette ville ont été ornées de vitraux pendant la première moitié du dix-huitième siècle. Je citerai entre autres :
Saint-Gervais. — Sujets et bordures.
Saint-Nicolas du Chardonnet. — Chiffres et bordures.
Le dôme des Invalides. — Chiffres et bordures.
Saint-Sulpice. — Sujets sur fonds blancs.
Les Blancs-Manteaux.
Chapelle du château de Versailles. — Peintures sur glace.
Caudebec. — Misérables bordures sur fond blanc.
Chapelle du collège de Merlon, à Oxford. — Une partie des fenêtres basses ont été peintes en 1709.
Eglise Saint-André Holborn. — Peintures un peu plus récentes, et très supérieures aux dernières qui se firent en France vers la même époque.

ROSES

Celle de la chapelle du Collège-Neuf (*New-College*), à Oxford.

CURIEUX DE VERRERIE

MM. G. Allard Dansaert (Belgique), grands gobelets gravés. — **Édouard André** (Paris), vase à parfums antique, en forme d'amphore. Deux grandes coupes en verre antique jaspé, de la plus grande rareté. Lampes de mosquée, ornées d'inscriptions arabes. — Comte **Ed. D'Assche** (Belgique); verre gravé, offrant les armes et le portrait de Hantje Van der Noot.

Alfred Baar (Belgique), coupe à pied torsiné; série de verres couverts, gravés; l'un d'eux représente le buste de Charles VI. — **J. Ant. Bamps** (Belgique), flacons, canettes, carafons; verres façon de Venise, en laticinio, du XVII[e] siècle; verres gravés du XVIII[e] siècle. — **Barry**, verreries arabes des XV[e] et XVI[e] siècles. — **Basilewski** (Paris), raretés diverses, superbe collection. — **Bauduin** (Belgique). — **Léon Berlemont** (Belgique), service de voyage en cristal de Bohême, gravé. — **Bellon** (Rouen), importante collection de verreries antiques de la Syrie, de l'Asie mineure, de la Grèce. Raretés. — **Edm. Bonaffé** (Paris), verrerie de Venise du XVI[e] siècle; verres, coupes, aiguières, assiette opale à arabesques dorées. Buire ovoïde à couvercle et à anses, en verre gravé et doré, avec armoirie. — **M[me] Brand-Bouvy** (Belgique). — Le vicaire **De Bruyn** (Belgique), collection de plus de 130 verres du XVIII[e] siècle.

De Cannart d'Hamale (Belgique), verres gravés : Intérieur hollandais. Armes des Provinces-Unies. Portrait de Marie-Thérèse. — Prince **Eug. de Caraman-Chimay** (Belgique), grand verre gravé, avec couvercle : Vues d'Anvers. — **Fr. Carcenac** (Toulouse). — **P. Chardin**, rares et belles pièces de Venise des XVI[e] et XVII[e] siècles. — **Charvet** (Paris), collection de verreries recueillies en Auvergne et provenant, selon M. Charvet, de fabriques établies dans la forêt de pins de Margeride (Cantal). Ces fabriques n'auraient cessé de fonctionner que vers le commencement du XIX[e] siècle — **D[r] Closmadenc** (Vannes), verroterie franque. — C[te] **Cornet de Grez** (Belgique). — Prince **Czartoryski** (Paris).

Ed. De Deyn (Belgique). — **Descamps** (Belgique), verres à couvercle et autres, du XVIII[e] siècle. — **A. Desmottes** (Paris), série de coupes vénitiennes, armoriées, XVI[e] siècle. — **Duquénelle** (Reims),

verrerie gallo-romaine. — **Eug. Dutuit** (Rouen), verrerie vénitienne du XVIe siècle; verres filigranés; pièces figurant des espèces de dragons ailés, etc.

Enschedé (Hollande), verrerie des Pays-Bas, riche collection. — **Mme Evans Lacombe**, coupe hémisphérique gallo-romaine, avec inscriptions en pâte de verre, formant des astérisques jaunes et violettes.

J. Fau (Paris), très belle collection, vendue en 1884. — Baron **de Favareau de Jenneret** (Belgique), verres gravés du XVIIIe siècle, sur l'un, décoré d'une double armoirie, on lit : *Vive Son Alt. Royale, Vive S. Al. el Palatine.* Verre à pied, en forme de tricorne, bordé en verre bleu. Fabrication liégeoise. — **Fr. Fétis** (Belgique), verreries d'Anvers : verres à pied; coupe évasée reposant sur une tige en balustre ornée de mufles de lion, XVIe siècle. — **Gabr. de Fontaine** (Fontenay-le-Comte), verre conique à boire, émaillé de trois hallebardiers, séparés par trois colonnes de feuillages symétriques. Légende : *En la sueur de ton visage tu mangeras le pain.* Fabrique poitevine, XVe siècle. Verre à boire en cône tronqué, sur piédouche, jaspé bleu et violet. Trouvé dans le bas Poitou, XVIe siècle. — **Jules Frésart** (Belgique), série de verres et de gobelets vénitiens, flamands, hollandais, du XVIIe siècle. — **De Froberville** (Chailles, par Blois), verrerie de Venise et de Bohême.

Paul Gasnault (Paris), collection de verreries, à fond coloré et peintes. — **Gavet**, superbe collection de Venise; pièces variées, remarquables par leur goût, leur forme et leur richesse. — **Victor Gay** (Paris), verrerie du moyen âge. Échantillons français, allemands, flamands, arabes et persans. — **Geelhand** (Belgique). — **Goupil** (Paris), verreries arabes des XVe et XVIe siècles. — **Julien Gréau** (Paris), magnifique collection de verrerie antique, orientale, romaine, gauloise, mérovingienne.

Hourdequin (Montdidier). — **Honyet** (Belgique), verres et flacons liégeois du XVIIIe siècle. — **Mme Jubinal de Saint-Albin** (Paris), série de vidrecomes allemands. — **W. Kuhnen** (Belgique). — **Laumont Lagasse** (Belgique), pipe en verre de fabrication liégeoise, XVIIIe siècle. — **Gast. Le Breton** (Rouen), environ cent pièces de verreries rouennaises, de la fabrique d'Azémar, des XVIIe et XVIIIe siècles. M. Le Breton a l'intention de léguer cette précieuse collection au musée de Rouen. — **De Liosville** (Paris), fabriques diverses. — Comte **Thierri de Limburg Stirum** (Belgique), verres gravés; gobelets du XVIIe siècle. — **Luzanni**, verres gallo-romains.

Alfred Mame (Tours), verrerie de Venise et d'Allemagne. — **Maquet**, urnes, vases, biberons, verres à pied en vieux Venise; ornementation de mascarons et de dessins à filigranes des plus variés. — **Martin**, idem.

— F. **Maskens** (Belgique), verre gravé au diamant, signé : A. Scheiman, 1782. Fabrication hollandaise. — **A.-M.-S.**, types divers, italiens, français, allemands. — **Mme de Meester de Bocht** (Belgique), buire en verre gravé, avec ces mots : *Vive le prince Charle.* — **Raoul Mellier** (Abbeville). — **De Montgermon** (Paris), verreries de Venise et autres. Lampe arabe de mosquée, XVe siècle.

Ch. L.-A.-Nicaise (Reims), verrerie gallo-romaine.

Comte **Ferd. d'Oultremont de Warfusée** (Belgique), grand calice couvert, dit d'accouchée. Fabrique hollandaise du XVIIIe siècle.

Patrice Salin (Paris), verrerie vénitienne. — **John Pinson** (Belgique), verre filigrané, façon de Venise, de fabrication anversoise, du XVIIe siècle. Verre gravé au diamant par le chanoine Schuman, de la cathédrale d'Anvers. Le sujet : coq, poules, poussins, est accompagné d'une longue inscription. Dans le pied, on lit : *A.-F.-A. Shuman canonicus sancte maria sculpsit* 1757. — Baron **de Pitteurs Hiegaerts d'Ordange** (Belgique), verre cylindrique émaillé, du XVIe siècle, représentant le Sauveur. Légende : *Salvator*, 1596. — **Du Plessis** (Blois), verrerie de Bohême. — **Posno.** — **Eug. Poswick** (Belgique), collection de gobelets, verres, canettes, etc., de fabrication flamande, hollandaise et allemande.

Dr Rensens (Belgique), grand gobelet de corporation gravé. — **E.-Th. Rogers**, verrerie égyptienne, époque des khalifes. — Baron **A. de Rothschild** (Paris) (1), très rares types vénitiens du XVe et du XVIe siècle, Lampe arabe de mosquée.

Dr Salmon, verroterie franque. — **Schéfer** (Paris). — **Nicolas Simonon** (Belgique). — Baron **Inoy** (Belgique). — **Spitzer** (Paris), collection hors de pair. Coupes, vases, cornets, calices, ampoules, bouteilles en verre de Venise, des XVe, XVIe et XVIIe siècles, Spécimens de toute beautés. — **Ch. Stein** (Paris), série de vieux Venise. Verres filigranés à ailerons d'enfants ailés, bordée d'un galon d'or denté, XVe siècle. — **G. de Trémont**, verreries de Vendôme (1624) et de Plessis-Dorin.

Van de Castecle (Belgique), collection de verres liégeois renfermant plus de 150 spécimens divisés en trois séries : 1° façon vénitienne ; 2° façon allemande ; 3° façon liégeoise. — **Léop. Van Hollebeke** (Belgique). — **J. Van Mansfeld** (Belgique), album de dessins de verres, copiés en Belgique, en Hollande et dans la Flandre française, sur les tableaux peints aux Pays-Bas, pendant le XVe et le XVIe siècle. — Baron **Van der**

(1) Collection de verrerie acquise en partie à S. A. R. le Grand-duc de Bade, en 1869 ou 1870.

Stichele de Maubus (Belgique). — Comte **Fr. Van der Staten Ponthoz** (Belgique), garniture de treize pièces en verre de Bohème, rouge rubis. — **Ventrillon** (Blois), coupes de Venise et autres.

A. Willet (Amsterdam), verreries de Venise, d'Allemagne et des Pays-Bas. — **Léopold de Wael** (Belgique), calice aux armes du prince évêque de Liège, Maximilien de Bavière. Verre émaillé, avec personnages et enseigne de verriers. Ce beau spécimen de la fabrication d'Anvers porte une inscription et la date de 1602. — **Wuillot-Warin** (Belgique).

Consulter à ce sujet *Le Livre des Collectionneurs*, par Alph. Maze-Sencier. Paris, librairie Renouard.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE DU VERRE EN FRANCE ET A L'ÉTRANGER·

France.

On compte, en France, 162 usines fabriquant le verre et les cristaux et 9 manufactures de glaces.

Les verreries et cristalleries occupent 16 000 hommes, 1 900 femmes, environ 3 000 gamins, soit 20 900 personnes, nécessitant l'emploi de 2 500 chevaux-vapeurs, 500 chevaux hydrauliques, soit 3 000 chevaux et produisant pour une somme de 80 000 000 de francs.

Les manufactures de glaces occupent 2 500 hommes, environ 150 femmes, 150 gamins, soit 2 800 personnes, nécessitant l'emploi de 1 900 chevaux-vapeur, 300 chevaux hydrauliques, soit 2 200 chevaux et produisant pour une somme de 20 000 000 de francs.

Soit donc au total, en 1895, une vente d'environ 100 000 000 de francs.

Il n'y a guère que 42 départements qui ne prennent point part à l'industrie du verre en France; ceux qui produisent le plus de verreries sont : Nord, Seine, Aisne, Meurthe-et-Moselle, Marne, Loire, Rhône, Saône-et-Loire, Seine-Inférieure, Aveyron, Gironde, Orne, Bouches-du-Rhône, Cher, Allier, Seine-et-Oise.

DEPUIS 1872 L'IMPORTANCE DES CHIFFRES DE L'EXPORTATION EN VERRERIE EST DE :

ANNÉES (mille fr.)	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1892	1893	1894
Glaces	5.281	8.158	8.945	8.540	7.209	7.782	5.377	5.527	5.003	4.160	5.805	5.039	5.092
Verres et cristaux	40.356	34.827	32.693	34.582	31.001	26.107	24.446	19.753	23.195	22.624	22.643	22.601	22.500

L'IMPORTANCE DES CHIFFRES DE L'IMPORTATION EN FRANCE EST DE :

(mille fr.)	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1892	1893	1894
Verres et cristaux	6.755	5.282	10.309	5.920	4.651	6.009	1.346	6.491	8.290	9.492	13.619	14.090	15.401

IMPORTATIONS EN 1892-1893-1894, DEPUIS LA DERNIÈRE REVISION DU TARIF DOUANIER 1892-1895 (1).

MARCHANDISES et PROVENANCES.	UNITÉS.	ANNÉES. Commerce général. — Quantités arrivées. 1894	1893	1892	Commerce spécial. Quantités livrées à la consommation. 1894	1893	1892	Valeurs actuelles. 1894 francs.	1893 francs.	1892 francs.
VERRES ET CRISTAUX										
Verres et cristaux. Glaces ayant en superficie moins d'un demi-mètre carré	Kil.	158.893	138.824	111.747	185.320	119.408	102.367	144.704	113.523	97.219
Glaces ayant en superficie d'un demi-mètre carré à un mètre carré	M. c.	9.079	5.639	9.728	6.121	2.780	5.374	97.878	30.202	107.480
Glaces ayant en superficie un mètre carré ou plus, brutes	Id.	208	17	13.191	51	6	6.660	421	48	66.000
Glaces ayant en superficie un mètre carré ou plus, polies	Id.	3.224	4.411	8.259	2.907	3.317	3.511	52.326	59.706	70.280
Glaces ayant en superficie un mètre carré ou plus, étamées	Id.	2.602	493	3.185	191	412	2.680	4.393	9.470	67.0[illegible]
Verres bruts coulés ou moulés pour isolateurs, toitures, etc.	Kil.	203.504	170.770	96.694	234.719	170.623	90.512	84.734	46.068	20.0[illegible]
Gobeleterie de verre ou de cristal unie et moulée	Id.	3.120.402	2.411.875	3.146.269	2.060.823	1.649.440	2.086.495	1.364.103	1.093.5[illegible]	1.381.1[illegible]
Gobeleterie de verre ou de cristal taillée, gravée ou décorée	Id.	1.067.040	1.049.005	1.115.321	1.151.369	1.027.169	457.920	2.680.991	2.619.281	2.[illegible]
Gobeleterie de verre ou de cristal. Verres ou cheminées d'éclairage	Id.	2.510.225	2.120.366	1.608.989	2.496.224	2.123.989	1.592.505	1.947.058	1.636.711	1.242.1[illegible]
Verres à vitres ordinaires	Id.	5.492.949	3.941.704	4.134.870	2.208.590	1.125.012	1.660.991	420.207	217.217	[illegible]
Verres à vitres de couleur ou légèrement teintés et verres ondés	Id.	123.719	106.102	175.445	103.781	86.568	158.866	185.676	129.862	343.621
Verres à vitres. Verres assemblés en vitraux	Id.	10.819	8.175	6.408	9.817	7.995	5.9[illegible]	58.902	47.070	47.000
Verres de montre et de pendule	Id.	18.511	19.143	22.066	12.424	8.079	10.368	43.484	31.427	37.425
Verres de lunettes et d'optique	Id.	51.801	48.283	42.012	27.635	27.461	18.201	386.800	384.454	254.814
Vitrifications et émail en masses ou en tubes	Id.	373.550	409.877	450.594	362.065	498.486	451.241	666.200	919.706	873.152
Vitrifications en grains percés ou taillés, verre filé, boules, corail factice en verre, pierres à bijoux et breloques	Id.	2.034.620	1.950.119	2.003.612	1.824.476	1.814.910	1.829.287	4.378.742	4.355.784	4.573.218
Fleurs, ornements et couronnes en vitrification ou porcelaine	Id.	111.832	98.802	72.803	110.627	93.732	72.289	370.000	314.002	253.011
Bouteilles pleines	Id.	3.554.282	3.301.345	4.027.064	2.831.772	2.775.818	2.998.150	382.424	374.[illegible]	404.701
Bouteilles vides	Id.	9.906.455	5.185.953	3.330.840	8.608.404	3.842.447	2.212.924	1.162.143	518.730	301.446
Groisil ou verre cassé	Id.	6.171.810	5.648.133	5.574.747	6.166.160	5.048.133	5.574.017	400.860	307.120	362.311
Lampes électriques à incandescence	Id.	19.369	21.013	19.996	11.594	17.308	14.878	405.790	605.780	520.730
Objets en verre non dénommés	Id.	261.560	205.658	322.446	196.316	193.035	188.970	215.948	212.336	207.868
Totaux								15.101.000	14.090.000	13.610.000

EXPORTATIONS EN 1892-1893-1894.

MARCHANDISES et DESTINATIONS	UNITÉS.	COMMERCE GÉNÉRAL. Marchandises françaises et étrangères exportées. 1894	1893	1892	COMMERCE SPÉCIAL. Marchandises françaises ou francisées exportées. 1894	1893	1892	Valeurs actuelles. 1894	1893	1892
								francs.	francs.	francs.
VERRES ET CRISTAUX.										
Glaces ayant de superficie : moins d'un demi-mètre carré	Kil.	289.498	334.870	374.673	286.670	315.484	354.891	203.536	224.782	252.860
Glaces ayant de superficie : un demi-mètre à un mètre carré	Id.	388.678	375.137	484.657	341.243	357.501	461.811	423.141	445.089	640.762
Glaces ayant de superficie : un mètre carré ou plus, brutes	Fr	49.810	31.230	338.009	33.710	31.200	74.249	33.710	31.200	74.249
Glaces ayant de superficie : un mètre carré ou plus, polies	Id.	4.109.463	4.023.895	4.393.256	4.095.343	3.991.289	4.306.106	4.095.343	3.991.289	4.306.106
Glaces ayant de superficie : un mètre carré ou plus, etamées	Id	350.451	353.093	540.937	336.901	346.551	531.487	336.901	346.551	531.487
Verres bruts coulés ou moulés pour isolateurs, toitures, vitrages, tuyauteries ou parements	Kil.	314.914	357.301	227.245	314.170	357.148	227.140	84.826	96.429	61.327
Gobeleterie de verre et de cristal : unie et moulée	Id.	12.499.534	12.424.165	12.469.048	11.461.113	11.659.626	11.379.014	7.335.112	7.433.012	7.254.313
Gobeleterie de verre et de cristal : taillée, gravée, ou décorée	Id.	417.887	423.549	707.269	403.961	401.938	531.363	719.051	717.458	984.183
Gobeleterie de verre et de cristal : verres ou cheminées d'éclairage	Id.	135.484	131.045	134.256	122.377	125.783	117.593	73.426	75.470	70.556
Verres à vitres : ordinaires	Id	8.195.439	7.821.348	6.986.938	4.905.103	5.000.780	4.514.869	946.685	965.025	964.940
Verres à vitres : Verres de couleur ou légèrement teintés et verres ondés	Id.	651.710	143.723	96.104	127.470	124.405	76.346	142.766	139.956	120.246
Verres à vitres : Verres assemblés en vitraux et verres de couleur émaillés, gravés, etc.	Id.	45.143	60.849	28.729	40.759	60.709	28.346	199.719	297.472	158.736
Verres de montres et de pendules	Id.	19.315	28.669	53.877	14.105	18.735	42.732	40.622	53.957	123.070
Verres de lunettes et d'optique	Id.	30.320	60.266	61.481	30.272	43.837	38.129	339.046	490.980	
Vitrifications et émail en masses ou en tubes	Id.	142.950	159.583	103.994	158.712	158.164	103.124	265.946	298.931	427.042
Vitrifications en grains percés ou taillés, verre filé, boules et corail factice en verre, pierres à bijoux et breloques	Id.	274.342	306.588	385.099	169.942	169.216	213.604	263.884	338.430	194.905
Fleurs et ornements, et couronnes en vitrification ou porcelaine	Id	328.771	292.901	227.167	327.602	287.329	226.440	946.770	830.382	427.207
Bouteilles : pleines	Id.	48.551.792	51.559.458	50.774.239	45.972.655	50.858.747	49.470.460	6.713.084	6.865.931	673.659
Bouteilles : vides	Id.	18.214.874	18.542.475	18.823.269	16.513.314	17.195.538	17.717.129	2.229.297	2.321.398	6.678.512
Groisil ou verre cassé	Id.	1.480.934	1.433.406	1.764.206	1.474.748	1.430.214	1.763.476	87.576	85.812	2.391.812
Lampes électriques à incandescence	Id.	39.015	25.408	26.263	30.146	21.685	21.206	738.577	531.300	105.809
Objets en verre non dénommés	Id.	1.777.651	1.393.658	1.932.179	2.105.212	1.288.234	1.805.136	1.381.222	1.062.794	519.510
TOTAUX								22.500.000	22.601.000	22.643.000

Le lecteur consultera les tarifs de la Commission des douanes, puis aussi, dans la « bibliothèque parlementaire » les *Nouveaux tarifs de douane*, par Eug. Pierre, 1re et 2e éditions, 1895.

Nous en avons extrait quelques renseignements concernant le verre et les cristaux, nous les groupons dans le tableau ci-après :

Email en masses ou en tubes, n° 358 (ancien 359), 6 juillet, J. O., p. 1604 et 1305.
Émaux cloisonnés, n° 573 (ancien 575), 9 juillet J. O., p. 1686 et 24 septembre J. O., p. 2816.

Glaces (miroirs), n° 348 (ancien 354) 6 juillet, J. O., p. 1601 et 1602 et 24 déc., J. O., p. 281[illegible].

Verres bruts coulés et moulés, n° 349 (ancien 351), 6 juillet, J. O., p. 1602.
— de lunettes et d'optique, nos 350 à 357 (ancien 358 *bis*), 6 juillet, J. O., p. 1604.
— de montres et de pendules, nos 352 à 354 ancien 358), 6 juillet, J. O., p. 1604.
Verres à vitres, n° 351 (ancien 357), 6 juillet, J. O., p. 1602 et suivantes.

VERRES ET CRISTAUX.

N°	FABRICATIONS.		DROITS (décimes compris) Tarif général.	Tarif minimum
			100 Kil.	100 Kil.
318	Glaces ayant de superficie	moins d'un demi-mètre carré	25 »	20 »
			Mètre carré.	Mètre carré.
		un demi-mètre carré inclusivement à un mètre carré exclusivement. Brutes	1 25	1 »
		un demi-mètre carré inclusivement à un mètre carré exclusivement. Polies ou étamées.	4 »	3 »
		un mètre carré ou plus. Brutes	3 »	2 »
		un mètre carré ou plus. Polies ou étamées.	5 »	3 50
319	Verres bruts coulés ou moulés avec ou sans stries, reliefs ou perforations de toutes épaisseurs, formes et dimensions pour isolateurs, toitures, vitrages, tuyauterie ou pavements		100 Kil. 6 »	100 Kil. 4 50
350	Gobeleterie de verre et cristal	unie et moulée blanche ou unicolore et teintée dans la masse	6 »	4 »
		taillée et gravée autrement que pour effacer les traces de l'attache dite pontil	20 »	16 »
		décorée d'or ou de couleur	35 »	28 »
		Verres ou cheminées d'éclairage	18 »	15 »
351	Verres à vitres	ordinaires : pour les verres dont la superficie ne dépasse pas $0^{mq},50$	7 »	5 »
		ordinaires : pour ceux dont la superficie excède $0^{mq},50$.	12 »	10 »
		Verres de couleur ou légèrement teintés, verres ondés.	25 »	20 »
		Verres assemblés en vitraux, verres de couleur émaillés, gravés, décorés d'empreintes lithographiques, photographiques ou autres, ou de peintures à la main	120 »	100 »
352	Verres de montres	bruts, y compris les verres de fausses montres	20 »	15 »
353		Verres de pendules non bombés, taillés et polis	75 »	50 »
354		Verres de pendules autres et verres de montres taillés et polis	180 »	150 »
355	Verres de lunettes et d'optique	plans ou bombés	30 »	15 »
356		koylos ou verres à vitres taillés d'un côté	30 »	15 »
357		polis et taillés	180 »	150 »
358	Vitrifications.	Vitrifications et émail en masses ou en tubes. non coupés	6 »	5 »
		Vitrifications et émail en masses ou en tubes. coupés non recuits	7 50	6 »
		Vitrifications en grains percés ou taillés, verre filé, boules et corail factice en verre	30 »	20 »
		Pierres à bijoux. Breloques colorées ou non en verre.	150 »	100 »
		Fleurs et ornements en perles et porcelaine, mosaïques sur papier	150 »	125 »
		Couronnes ébauchées ou terminées et autres objets en vitrification ou porcelaine, avec ou sans ornement de métaux	175 »	150 »
359	Bouteilles pleines et vides		4 50	3 50
360	Groisil ou verre cassé		Exempt.	Exempt
361	Lampes électriques à incandescence, munies de leur monture		400 »	350 »
361 *bis*	Lampes électriques à incandescence, non munies de leur monture.		800 »	700 »
362	Objets en verre non dénommés		40 »	30 »

Dans le tableau ci-après nous résumons l'importance du commerce du verre et des objets de poterie dans les années 1893 et 1894 :

	Importation en France.		Exportation française.	
	1893	1894	1893	1894
	—	—	—	—
Belgique.	12.469.000f	14.993.000f	10.662.000f	10.554.000f
Grande-Bretagne.	4.252.000	4.553.000	10.484.000	10.179.000
Italie	3.697.000	3.899.000	»	»
Allemagne	9.777.000	14.183.000	2.378.000	2.142.000
Espagne.	»	»	2.370.000	2.751.060
Turquie.	»	»	1.109.000	1.959.000
États-Unis d'Amérique .	»	»	2.800.000	2.371.000
Brésil	»	»	1.274.000	1.364.000
République Argentine. .	»	»	1.981.000	1.688.000

ACCROISSEMENT DE L'INDUSTRIE DU VERRE EN AMÉRIQUE

On a beaucoup écrit récemment sur le développement prodigieux de diverses villes et sur l'extension toujours croissante de l'industrie aux États-Unis.

Les chiffres ci-après donneront la mesure exacte des progrès accomplis dans l'industrie du verre et pour chacune des natures de verre en particulier.

FLINT GLASS OU CRISTAL.

	Fours.	
	En 1880.	En 1890.
	—	—
Connecticut.	1	1
District de Colombia.	1	»
Illinois	2	9
Iowa.	2	»
Kentucky	2	1
Maryland	2	9
Missouri.	2	3
Massachusets	15	12
New-Jersey	10	13
New-York.	24	31
Ohio.	18	54
Pensylvanie.	85	111
Virginie Ouest	8	12
Colorado	»	1
Indiana.	»	7
Georgia	»	2
Minnettotta.	»	1
Total des fours. . . .	162	268

Nous ajouterons qu'en réalité la production a été augmentée plus que ne l'indiqueraient les chiffres ci-dessus.

En effet, dans ces dix dernières années, on a agrandi notablement la

dimension des creusets, et en outre on a construit un grand nombre de fours à bassins dont la puissance productive atteint parfois trois et quatre fois celle d'un four à pots.

	Fours en 1880.			Fours en 1890.		
	Verre à vitres	Verre vert.	Verre cathédrale.	Verre à vitres.	Verre vert.	Verre cathédrale.
Illinois	6	4	»	9	9	3
Indiana	3	2	»	14	8	2
Iowa	1	»	»	»	»	»
Maryland	5	3	»	8	4	»
Massachusets	4	1	1	1	»	3
Michigan	1	»	»	1	»	»
Missouri	2	4	»	2	2	2
New-Jersey	15	31	»	26	45	»
New-York	11	13	»	16	15	1
Ohio	6	5	»	27	15	2
Pensylvanie	34	18	»	44	33	2
Kansas	»	»	»	1	»	»
Wyoming	»	»	»	1	»	»
Delaware	»	»	»	2	»	»
California	»	1	»	»	1	»
Kentucky	»	3	1	»	2	»
Mississipi	»	1	»	»	0	»
New-Hampshire	»	2	»	»	0	»
Georgie	»	»	»	»	2	»
Colorado	»	»	»	»	2	»
Wisconsin	»	»	»	»	3	»
Alabama	»	»	»	»	2	»
Utah	»	»	»	»	1	»
	88	88	2	152	144	14

Les plus grands progrès ont été accomplis dans l'industrie des glaces, ainsi qu'on peut le voir par les chiffres ci-après :

	Fours.	
	En 1880.	En 1890.
Indiana	5	10
Kentucky	2	»
Missouri	2	6
Pensylvanie	»	24
	10	40

Depuis l'année 1890, de nouvelles glaceries, entre autre Ellwood avec 60 pots, et Charleroi avec 80 pots, sont venues s'ajouter à celles que nous venons d'énumérer, et l'on estime que la fabrication est actuellement décuplée de ce qu'elle était en 1880.

APPENDICE

NOUVELLE MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA DURETÉ DES VERRES.

Au Congrès de Bordeaux, en 1895, MM. Jannetaz et Goldberg ont fait connaître la méthode qu'ils ont appliquée à la détermination de la dureté des matières vitreuses et cristallisées.

Cette méthode donne la dureté d'une surface et non pas celle d'une direction; elle est donc incomplète au point de vue de l'étude des substances cristallisées. Quant à son application aux matières amorphes telles que les verres et les émaux, elle est tout à fait légitime; de plus elle correspond à une propriété qui est bien définie et importante au point de vue pratique.

Appareil. — L'appareil dit « usomètre » (fig. 1) employé dans ces recherches consiste essentiellement en un petit tour d'opticien entouré par un bâti en bois qui supporte à égale distance de son centre quatre glissières où coulissent des tiges verticales. Celles-ci sont munies à leur partie supérieure de goupilles que l'on peut charger de poids; elles sont terminées à leur partie inférieure par de petits disques auxquels on colle les échantillons à essayer.

Avant et pendant la rotation du plan du tour on ajoute de l'émeri additionné d'eau, de façon à produire l'usure.

Principe de la méthode. — Pour conserver à l'appareil son caractère de simplicité, on s'est attaché à éviter toute mesure nécessitant des appareils accessoires, telles que des mesures de temps, de vitesse ou de nombre de tours. On a employé la méthode par témoin, c'est-à-dire que parmi les quatre plaques soumises à l'usure, il en est toujours au moins une qui a été précédemment étudiée et qui sert de terme de comparaison.

L'usure se détermine soit d'après la diminution d'épaisseur évaluée au

sphéromètre, soit, ce qui a été adopté couramment, d'après la perte de poids, avec une balance de précision.

On a constaté que la proportionnalité subsiste bien entre les nombres qui mesurent l'usure des divers échantillons dans les différentes séries d'expériences; il suffit d'observer certaines conditions expérimentales que déterminent des essais préliminaires de réglage.

Mode opératoire. — Les conditions expérimentales à réaliser sont les suivantes pour l'appareil dont le dessin est donné ci-joint :

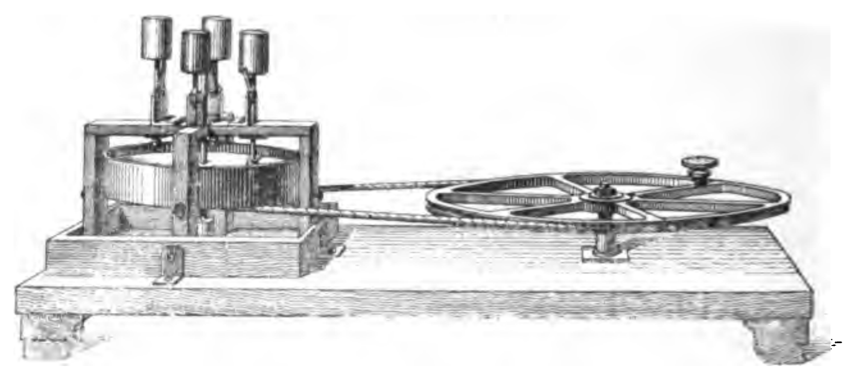


Fig. 1.

1° La vitesse de rotation du disque doit être moyenne ; celle qu'on obtient en tournant à la main et sans fatigue la manivelle dont l'arbre agit par poulies et courroies sans fin sur le disque et qui fait faire à celui-ci environ huit cents tours à la minute, convient bien.

2° Il est nécessaire que les plaques aient une petite surface par rapport à celle du disque : les plaques de verre de 8 millimètres de côté, c'est-à-dire de 64 millimètres carrés de surface, donnent de bons résultats pour un écart des tiges diamétralement opposées supérieur à 10 centimètres.

3° Les poids dont sont chargées les tiges doivent être réglés de façon que celles-ci ne tournent pas autour de leur axe vertical par suite de l'adhérence entre les plaques à user et le disque usant; mais ces poids ne doivent pas non plus être trop forts. Ceux qui conviennent le mieux sont compris entre 3 et 5 grammes par millimètre carré. On pourrait être porté à croire que la rotation des tiges devrait donner d'excellents résultats en régularisant l'action de l'usure de façon à éviter que certaines directions ne s'attaquent plus que d'autres, ce qui est particulièrement à craindre pour les corps à structure cristalline. La rotation des tiges conviendrait en effet s'il s'agissait d'user le disque tournant et non pas les plaques fixées aux tiges verticales et alors celles-ci devraient recevoir un mouvement d'une source spéciale, mais non pas emprunter leur énergie à l'appareil lui-même.

4° Comme poudre usante, l'émeri n° 3 convient bien; il ne faut pas qu'il soit trop sec; l'excès contraire n'est guère à craindre, car une grande masse d'eau entraînerait l'émeri avec elle par suite de la force centrifuge.

5° Le collage des plaques doit naturellement être fait avec beaucoup de soin, de façon qu'elles soient au centre de la tige et que leur surface soit horizontale.

Précision obtenue. — Les essais suivants relevés parmi un grand nombre d'autres effectués pour obtenir le réglage de l'appareil, montrent quelle est la précision qu'on peut atteindre. Quatre échantillons identiques taillés dans une glace de Saint-Gobain (choisie à cause de son homogénéité) ont été usés pendant deux périodes de six minutes, avec permutation après la première de ces périodes.

Ils ont fourni les résultats suivants :

Échantillons.	Perte de poids en grammes.
—	—
N° I	0,1715
N° II.	0,1705
N° III	0,1720
N° IV.	0,1740

Ce qui donne pour différence maxima :

0,0035

Si nous additionnons les résultats des échantillons I et III, II et IV, nous avons :

N° I et III.	$0^{gr},1715 + 0,1720 =$	$0^{gr},3435$
N° II et IV.	$0^{gr},1705 + 0,1740 =$	$0^{gr},3445$
	Différence	$0^{gr},0010$

On voit donc que l'on diminue sensiblement l'erreur absolue; il va sans dire, d'ailleurs, que l'erreur relative est réduite de moitié, puisque le poids total est deux fois plus grand.

Cette erreur est égale ou inférieure à $\frac{10}{3435} = 0,00291$, c'est-à-dire inférieure à 0,3 pour 100.

Conclusion. — Cette dernière méthode donne donc des résultats très précis; elle a pour défaut qu'à chaque essai on ne peut observer qu'une matière nouvelle dont les échantillons occupent deux tiges, tandis que les deux autres tiges sont réservées aux deux échantillons de la matière qui sert d'étalon. Mais il n'est plus nécessaire de déplacer qu'une fois chaque échantillon, au lieu de trois, c'est-à-dire d'avoir deux périodes d'usure au lieu de quatre et par suite chaque expérience dure moitié moins de temps. Aussi est-ce cette méthode qui a été définitivement adoptée par MM. Jannetaz et Goldberg.

Verres. — En prenant pour terme de comparaison le verre d'optique

Appert et pour dureté l'inverse des nombres qui mesurent les pertes de poids, MM. Jannetaz et Goldberg ont obtenu les résultats suivants :

Verre coulé n° 1, dureté maxima	1,064
Verre coulé n° 2, dureté maxima	1,058
Verres à vitres du Nord, dureté	1,016
Verre d'optique (Appert), dureté	1,000
Verre coulé n° 1, dureté minima	0,977
Verre blanc (Appert), dureté	0,971
Verre vert clair, dureté	0,965
Verre coulé n° 2, dureté minima	0,956
Verre bleu du seizième siècle { n° 1, dureté	0,919
Verre bleu du seizième siècle { n° 2, dureté	0,915
Verre vert (vitrail de Saint-Étienne), dureté	0.878
Verre blanc et rouge doublé (côté du verre blanc), dureté	0,813
Crown, dureté	0,757
Verre bleu du quatorzième siècle, dureté	0,703
Verre du treizième siècle, dureté	0,696
Flint glass, dureté	0,301

Émaux. — MM. Jannetaz et Goldberg ont également examiné une série d'émaux employés pour recouvrir la faïence. On comprend l'intérêt que présente la dureté de ces émaux qui protègent la pâte céramique et qui, lorsqu'ils sont appliqués sur des objets d'un usage courant, sont soumis à des frottements répétés avec des corps durs. Le tableau suivant montre combien leur dureté varie avec leur nature :

Verre d'optique Appert		1,000
Email stannifère		0,886
Émail de haute température	n° 1	0,811
—	n° 2	0,801
—	n° 3	0,785
—	n° 4	0,778
Émail pour majolique	n° 1	0,772
—	n° 2	0,767
Émail spécial de haute température		0,682
Émail tendre		0,488

POLISSAGE DES GLACES

M. Haut donne une disposition nouvelle aux polissoirs destinés aux appareils rotatifs polissant les glaces sur plate-forme. Les polissoirs sont placés sans symétrie apparente, mais de telle façon que toutes les zones de la table reçoivent le même frottement pendant le même espace de temps.

Cette disposition nouvelle des polissoirs donne, d'après M. Haut, un meilleur résultat industriel, en ce sens que la fabrication est mieux soignée et demande beaucoup moins de temps.

L'application de cette disposition des polissoirs peut se faire soit directement sur des ferrasses, soit à des balanciers.

RÉSISTANCE DU VERRE A L'ACTION DE L'EAU ET DES ACIDES.

Les travaux récents de Fœrster sur la résistance du verre à l'action de l eau et des acides l'ont conduit à formuler les conclusions suivantes :

1° L'attaque du verre ordinaire par les solutions aqueuses d'acides minéraux ne dépend pas, sauf de rares exceptions, de la nature des acides ni de leur concentration.

2° L'action des solutions aqueuses d'acides n'est due qu'à l'eau qu'elles renferment;

3° Le rôle des acides dans ce cas consiste simplement à neutraliser les alcalis mis en liberté et amenés à l'état dissous;

4° Les dissolutions aqueuses d'acides minéraux attaquent moins fortement le verre que ne le fait l'eau pure;

5° Les verres très calcaires ou très plombeux sont fortement attaqués par les dissolutions acides, et le degré d'attaque dépend de la nature de l'acide aussi bien que de sa concentration;

6° Les verres calcaires ordinaires sont moins fortement attaqués par l'acide sulfurique bouillant que par l'eau bouillante;

7° Les vapeurs d'acide sulfurique attaquent fortement le verre à haute température en donnant des sulfates alcalins. Dans ces conditions, la surface du verre est nettement altérée;

8° Le verre peut s'effleurir sous l'action décomposante de la vapeur d'eau atmosphérique. Quant à l'acide carbonique, il agit non pas sur le verre lui-même, mais sur les produits de sa décomposition provenant de l'action antérieure de l'air humide;

9° L'acide carbonique sec n'a aucune action sur le verre bien sec;

10° Il semble que l'eau ne soit absorbée par le verre que par suite d'une véritable combinaison chimique;

11° Pour les verres de bonne qualité effleuris sous l'action de l'eau ou de l'air humide, le changement de composition à la surface est absolument négligeable;

12° L'action de l'eau sur une surface de verre effleurie est, au début du contact, un peu plus forte que sur la surface lisse; après quoi elle redevient sensiblement la même.

VITRES DE COULEUR

La composition des mélanges destinés à la fabrication des verres à vitres varie à l'infini. On peut dire que chaque usine possède sa formule spéciale, qui ne diffère souvent des autres que par quelques détails insignifiants. Aussi bien, la qualité des produits obtenus dépend surtout de la pureté des matières premières naturelles qui entrent dans la fabrication, et principalement du sable et du calcaire. Quant au carbonate et au sulfate de soude, leur degré de pureté varie fort peu d'une usine à l'autre.

Pour les vitres blanches, les verreries belges emploient aujourd'hui le mélange suivant :

Sable de Hobenbocka. . .	100 kilog.	Sel marin	8 kilog.
Carbonate de soude. . . .	30 —	Charbon de bois pulvérisé.	1 —
Calcaire.	24 —		

Pour les vitres de qualité ordinaire, le mélange est généralement composé de :

Sable pur.	100 kilog.	Chaux vive.	24 kilog.
Sulfate de soude.	45 —	Charbon de bois	2.5 — 4.5

On peut augmenter la transparence et la blancheur de ces deux verres en leur incorporant une petite quantité d'oxyde vert ou d'oxyde noir de nickel.

Quant aux vitres de couleur, on les prépare au moyen du premier mélange, auquel on incorpore, suivant la teinte à obtenir, l'une des compositions que nous allons énumérer. Ces compositions sont calculées pour le poids de matières premières indiquées dans le premier mélange.

Bleu clair. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cuivre.	1 kilog.
Oxyde de cobalt.	25 —

Bleu foncé. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde noir de cuivre. . .	1 kilog.	Sulfate de cuivre. . . .	2 kilog.
Oxyde de cobalt.	150 —	Borax.	1 —

Vert bleuté. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cuivre.	1 kilog.
Oxyde de cobalt.	50 —
Oxyde de fer.	200 —

Ou bien :

Oxyde de cuivre	1 kilog.
Oxyde de cobalt.	50 —
Chromate de potasse.	250 —

Vert antique. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cuivre	1 kilog.
Chromate de potasse	400 —

Vert jaunâtre. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cuivre.	600 gr.
Sulfate de cuivre	200 —
Bichromate de potasse	900 —

Vert foncé. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cuivre.	1.500 gr	Oxyde de fer.	250 gr.
Chromate de potasse. . . .	800 —	Oxyde de cobalt.	50 —

Pour les vitres jaunes de qualité ordinaire, on fond le mélange suivant :

Sable	100 kilog.	Charbon de bois	2-4 kilog.
Sulfate de soude	36 —	Oxyde de manganèse	1 —
Pierre à chaux	24 —		

Cette composition fournit un verre qui s'éclaircit mal après la coulée. On recommande donc d'ajouter à la charge une certaine quantité de verre de même composition provenant d'une coulée antérieure.

Violet. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cobalt	50 gr.
Peroxyde de manganèse	4 kilog.

Noir. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cobalt	500 gr.
Oxyde de cuivre	3 —
Peroxyde de manganèse	3 —
Oxyde de nickel	200 —

Les vitres de couleur se préparent également par doublage. Comme dans la fabrication des vases, bouteilles, flacons, etc., on commence par souffler une ampoule de verre coloré que l'on double ensuite d'une enveloppe de verre blanc. Les principales teintes que l'on emploie dans ce cas sont : le rose, le rouge rubis, le jaune, le vert et le bleu. Le verre coloré lui-même, qui doit former l'enveloppe intérieure se prépare en fondant les mélanges suivants :

ROSE.

Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse raffiné	16 —
Borax	10 —
Nitrate de potasse	10 —
Craie pulvérisée	10 —
Acide arsénieux	44 —
Sel marin	4 —
Minium	20 —
Oxyde de zinc	200 gr.
Or	40 — à l'état de chlorure.

L'oxyde de zinc est additionné d'une solution de chlorure d'or renfermant 40 grammes d'or métallique. On évapore le tout, et c'est le mélange sec que l'on introduit dans la composition.

Rouge rubis. — Pour le rouge rubis, on fait usage de la composition suivante :

Sable	60 kilog.	Sel marin	3 kilog.
Carbon. de potasse raffiné	16 —	Nitrate de potasse	10 —
Calcaire	8 —	Oxydule de cuivre	1 —
Minium	20 —	Oxyde de zinc	1 —
Borax	10 —	Battitures de fer	500 gr.

La teinte jaune s'obtient avec la composition indiquée pour le rose ; mais au chlorure d'or on substitue 300 grammes de chlorure d'argent.

Pour les autres teintes (vert, bleu, violet), on emploie le premier mélange que nous avons indiqué tout à fait au début pour la fabrication du verre à vitre blanc. On se contente de forcer un peu la proportion de substances colorantes.

Ainsi pour le *Vert* on emploiera :

Oxyde de cuivre.	5 kilog.
Chromate de potasse.	2 —
Oxyde de fer	1 —
Borax	5 —

Pour le *Bleu :*

Oxyde de cuivre	3 —
Oxyde de cobalt	0.500
Borax.	3 kilog.

Enfin pour le *Violet* on emploiera :

Oxyde de cobalt.	0.100
Peroxyde de manganèse.	6 »
Borax.	3 »

FABRICATION DES VERRES COLORÉS PAR DOUBLAGE.

Actuellement le procédé du doublage s'applique aux verres colorés, même lorsque ces verres peuvent être obtenus à l'état massif. Pour les verres transparents, les colorations les plus usuelles sont : le rouge rubis (à l'or ou au cuivre), le jaune (à l'argent ou mieux au sulfure de cadmium), le rouge orangé, le bleu clair et le bleu foncé, le vert et enfin le violet. Le choix des colorations est encore plus riche lorsqu'il s'agit des verres opaques (verre opale, verre d'albâtre, etc.), car la composition même de ces verres permet de varier les nuances à l'infini. Outre le verre-émail blanc, nous connaissons le verre jaune orangé, jaune citron, rose, violet, bleu et vert.

Les verres colorés que l'on emploie ainsi au doublage des verres transparents ou opaques font l'objet d'une fabrication spéciale dans quelques usines d'Allemagne et d'Autriche et sont livrés dans le commerce sous forme de blocs.

Ce travail du doublage est une opération extrêmement délicate qui exige avant tout des ouvriers expérimentés. Les différents verres ne présentant aucune coloration à l'état fondu, il est essentiel que l'emplacement de chaque creuset soit bien déterminé à l'avance. De plus, on conçoit l'importance qu'il faut attacher à la qualité des creusets de fusion. Leur rupture, qui n'a pas grande importance dans le cas de cristal ordinaire, présente au contraire de graves inconvénients lorsqu'il s'agit de verres de couleur.

Les verres colorés que l'on emploie au doublage doivent être de teinte très pure et uniforme. Ils doivent être exempts de stries, de bulles et de soufflures, car ces défauts risquent de se retrouver, parfois même d'une façon plus accentuée, dans l'enduit final. Enfin les différents verres que l'on applique

les uns sur les autres doivent avoir les mêmes coefficients de dilatation et d'élasticité, afin de prévenir toute rupture soit pendant le refroidissement, soit pendant le travail du verre à froid. Ce dernier point devient très difficile à réaliser lorsqu'on superpose jusqu'à trois et quatre couches de verres différents.

Il y a lieu de distinguer le doublage simple du doublage multiple. Dans le premier cas, l'ouvrier commence par souffler une ampoule de verre blanc qu'il teinte ensuite en la plongeant dans le verre coloré. En général, cette ampoule colorée est plongée une seconde fois dans un creuset à verre blanc, en sorte que l'enduit coloré se trouve emprisonné entre deux couches de verre incolore. Comme nous l'avons déjà dit, ce travail est extrêmement délicat en raison des difficultés que l'on éprouve à obtenir des couches d'épaisseur uniforme sur toute la surface de l'objet. Aussi lui a-t-on substitué dans bien des cas un autre procédé qui consiste en ceci : on commence par souffler une ampoule en se servant du verre coloré qui doit former l'enveloppe extérieure; puis, au moyen de cette ampoule, on façonne le récipient que l'on cherche à produire. A l'intérieur de ce récipient on souffle alors une seconde ampoule en se servant du verre coloré qui doit former l'enveloppe intérieure et finalement on travaille le tout d'après les procédés ordinaires. En suivant cette méthode, on peut arriver à superposer beaucoup plus facilement différentes teintes. Extérieurement on commence toujours par une couche de verre incolore et transparent. A l'intérieur, les différentes couches colorées sont recouvertes d'un verre-émail opaque, et finalement d'un verre transparent coloré, vert, bleu, jaune ou rose.

Nous donnerons maintenant quelques détails sur la composition de ces différents verres.

Les anciens verres-émaux, composés de matières premières bien blanches et plombeuses, étaient rendus opaques au moyen d'oxyde de zinc. Plus tard, l'opacité a été obtenue au moyen de phosphate de chaux ou de cryolithe, et c'est encore à ces substances qu'on s'adresse aujourd'hui. Toutefois, pour obtenir des produits plus purs et une opacité plus parfaite, on leur mélange actuellement une forte proportion d'acide arsénieux. Outre que cette substance communique au verre une teinte laiteuse d'un effet très agréable, les vapeurs d'acide arsénieux qui se dégagent pendant toute la durée de la fusion ont pour effet de mélanger intimement la masse fluide, de la purifier et de la rendre parfaitement homogène. Parmi les innombrables formules de compositions pour verres-émaux blancs, nous donnerons les quatre suivantes :

I			II		
Sable	50	kilog.	Sable	50	kilog.
Carbonate de potasse	8	—	Carbonate de potasse	8	—
Acide arsénieux	10	—	Minium	15	—
Phosphate de chaux	6	—	Acide arsénieux	10	—
Minium	10	—	Blanc de zinc	5	—
Déchets de verre plombeux	30	—	Salpêtre	4	—
			Phosphate de chaux	6	—
			Déch. de verre plombeux	30	—

III		IV	
Sable	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse	6 —	Carbonate de potasse	8 —
Carbonate de soude	6 —	Minium	15 —
Cryolithe	6 —	Acide arsénieux	8 —
Minium	12 —	Salpêtre	4 —
Acide arsénieux	8 —	Blanc de zinc	3 —
Salpêtre	4 —	Phosphate de chaux	6 —
Déchets de verre plombeux	30 —	Déch. de verre plombeux	30 —

On commence par broyer grossièrement les déchets de verre plombeux et on les mélange aux autres subtances finement pulvérisées. La masse est fondue comme d'habitude, mais l'ouvrier chargé de la conduite du four doit veiller à ce que la masse ne déborde pas. Cet accident est assez fréquent par suite de la formation d'une écume abondante due à la volatilisation de l'acide arsénieux. Dans ce cas on projette de l'eau froide à la surface du verre fondu. Mais, d'une façon générale, il sera toujours plus prudent de ne pas remplir complètement les creusets. Une fois la masse bien fluide, on la coule dans une cuve remplie d'eau froide. Puis, après avoir décanté l'eau, on concasse le verre et on le fond à nouveau. Pendant cette seconde fusion, la masse est agitée au moyen de branches de bois vert à dix ou quinze reprises, afin de la purifier. Toutes ces opérations conduisent forcément à des pertes en matières premières; mais les produits qu'elles fournissent sont d'une pureté beaucoup plus grande. Il reste à couler le verre, que l'on façonne en blocs. Ces blocs sont emmagasinés et sont refondus au fur et à mesure des besoins de la fabrication.

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode générale de fabrication de verres opaques blancs. Les verres opaques de couleur se préparent d'une façon identique par adjonction de certains oxydes métalliques destinés à leur communiquer une teinte déterminée.

La teinte rose s'obtient au moyen de pourpre de Cassius ou de chlorure d'or, la teinte bleue au moyen d'oxyde de cuivre et d'oxyde de cobalt, la teinte verte au moyen d'oxyde de cuivre et d'oxyde de chrome. La teinte jaune peut être réalisée beaucoup plus facilement avec les verres opaques qu'avec les verres transparents ordinaires. A cet effet, on fait usage d'oxyde de fer ou des diverses combinaisons du soufre, de l'antimoine, du tungstène et du cadmium.

Voici d'ailleurs quelques formules de verres opaques colorés :

BLEU CLAIR.		BLEU FONCÉ.	
Sable	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse	8 —	Carbonate de potasse	8 —
Salpêtre	4 —	Salpêtre	4 —
Acide arsénieux	10 —	Acide arsénieux	10 —
Minium	15 —	Minium	15 —
Cryolithe	5 —	Cryolithe	5 —
Spath fluor	5 —	Spath fluor	5 —
Oxyde de cuivre	1.5 —	Oxyde de cuivre	2 —
Oxyde de cobalt	100 gr.	Sulfate de cuivre	2 —
		Oxyde de cobalt	150 gr.

VERT.		VERT.	
able	50 kilog.	Sable	50 kilog.
rbonate de potasse	8 —	Carbonate de potasse	8 —
ide arsénieux	10 —	Acide arsénieux	10 —
nium	15 —	Minium	15 —
pêtre	4 —	Salpêtre	4 —
olithe	5 —	Cryolithe	5 —
h fluor	5 —	Spath fluor	5 —
ate de soude	1 —	Oxyde de cuivre	1 —
xyde de cuivre	1.5 —	Chromate de potasse	0.5 —
		Uranate de soude	0.7 —

La teinte rose s'obtient au moyen d'une préparation d'or que l'on obtient de la façon suivante :

On dissout 10 grammes d'or pur dans l'eau régale. On ajoute un à deux litres d'une dissolution de borax et l'on évapore le tout à une douce chaleur jusqu'à cristallisation. Les cristaux qui se déposent sont recueillis, essorés et pulvérisés. La poudre ainsi préparée est mélangée avec 10 kilogrammes environ de verre opaque blanc finement pulvérisé. C'est ce mélange que l'on introduit dans le verre fondu une heure avant la coulée.

Voici deux formules pour les teintes jaune topaze et jaune citron :

JAUNE TOPAZE.		JAUNE CITRON.	
Sable	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse	8 —	Carbonate de potasse	8 —
Acide arsénieux	10 —	Acide arsénieux	10 —
Minium	15 —	Minium	20 —
Salpêtre	4 —	Salpêtre	4 —
Cryolithe	5 —	Cryolithe	5 —
Spath fluor	5 —	Spath fluor	5 —
Fleur de soufre	3 —	Sulfure de cadmium	3 —
Sulfure d'antimoine	3 —		

Le sulfure de cadmium se volatilise en partie pendant la fusion, en sorte que la teinte obtenue est toujours assez claire. Il est d'ailleurs préférable de mélanger d'abord cette substance avec une petite quantité de verre opaque pulvérisé.

Jaune orangé. — Enfin pour le jaune orangé on pourra prendre la formule suivante :

Sable	50 kilog.	Cryolithe	5 kilog.
Carbonate de potasse	8 —	Spath fluor	5 —
Acide arsénieux	10 —	Sulfure d'antimoine	3 —
Minium	12 —	Oxyde de fer	1.5 —
Salpêtre	5 —		

Au moment où nous terminons cet ouvrage, nous apprenons qu'une exposition où la verrerie est largement représentée va être clôturée à Nuremberg.

N'ayant pas eu la possibilité de voir en quoi consiste cette exposition, nous ne pouvons que l'indiquer au lecteur.

Cependant étant donnée la nature de la fabrication du verre dans la région de Nuremberg, nous nous doutons que l'intérêt que peut présenter cette exposition porte très probablement sur des moules spéciaux et certains petits procédés de gravure soit à la roue, soit à l'acide et aussi sur des verres d'optique.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES VERRES, PAR M. L. GRENET.

La première série d'expériences dont M. L. Grenet rend compte a été faite en collaboration avec M. Chatenet. Le but de ces recherches était de déterminer les relations qui rattachent à la composition chimique du verre ses propriétés physiques les plus importantes au point de vue industriel : dilatation, ténacité, fusibilité et altérabilité.

Dans cette étude, une difficulté spéciale résulte de ce que les propriétés du verre ne sont pas, comme celles des corps cristallisés, entièrement définies par la composition chimique, la température et la pression.

Elles dépendent encore toutes, mais à des degrés divers, suivant la nature de la substance, du temps et aussi, comme pour les métaux, des tensions internes résultant des déformations antérieures.

Pour étudier l'influence de la composition chimique, il faut, autant que possible, rendre le temps et les tensions internes uniformes, ce qui est toujours difficile.

Dilatation. — On a cherché s'il n'existerait pas une relation simple entre la dilatation et la composition chimique, si cette propriété ne varie pas suivant une loi additionnelle comme la densité.

Pour élucider ce point, il fallait s'adresser, non à des verres industriels, toujours très complexes, ne permettant que des variations restreintes de composition, mais à des verres simples, préparés au laboratoire, avec des proportions aussi différentes que possible de leurs éléments constituants, pour étudier la fonction dans toute l'étendue réalisable.

Les tableaux suivants donnent les résultats relatifs à différentes natures de verres :

VERRES SILICIQUES.

Soude.	Potasse.	Plomb.
$NaO2SiO^2$ 1.318	$KO3SiO^2$ 1.350	$PbOSiO^2$ 848
$NaO6SiO^2$ 924	$KO5SiO^2$ 1.126	$PbO2SiO^2$ 776
$NaO12SiO^2$ 734	$KO7SiO^2$ 1.017	

Ces résultats sont compatibles avec une loi additionnelle. Il n'en est pas de même des suivants :

VERRES BORIQUES.

Soude.		Plomb.		Lithine.	
$NaO2BoO^3$	953	$3PbO$ BoO^3	1.270	LiO $3BoO^3$	678
$NaO2,5BoO^3$	704	PbO BoO^3	974	LiO $4BoO^3$	590
$NaO5,13BoO^3$	817	PbO $2BoO^3$	669	LiO $5BoO^3$	646
$NaO10,18BoO^3$	953	$PbO2,5BoO^3$	609	$LiO10BoO^3$	900
$NaO16,83BoO^3$	1.019	$PbO3$ BoO^3	669	BoO^3	1.414
BoO^3	1.414	BoO^3	1.414		

Borate de zinc. $1,5ZnOBoO^3$ 374

Verre blanc et acide borique.

Verre blanc		847
Verre 70,7 BoO^3 29,3		685
Verre 57,2 BoO^3 42,8		570
Verre 38,59 BoO^3 61,41		596
Verre 30,8 BoO^3 69,2		653
BoO^3		1.414

Verre à bouteilles et acide borique.

Verre à bouteilles		659
V. à bouteilles. 85 BoO^3 15		631
V. à bouteilles. 75 BoO^3 25	(dévitrifié)	600
V. à bouteilles. 70 BoO^3 30	(dévitrifié)	629
V. à bouteilles. 50 BoO^3 50	(dévitrifié)	858
BoO^3		1.414

Tous ces coefficients doivent être multipliés par 10^8.

On voit que lorsqu'on fait varier d'une façon continue la proportion d'acide borique, la dilatation commence à décroître et croît ensuite pour tendre à se rapprocher de celle de l'acide borique pur, qui est très élevée et supérieure à celle de tous les verres. C'est ce qui explique comment, suivant les cas, l'acide borique peut être employé pour abaisser le cofficient de dilatation (couverte de Sèvres), ou pour l'élever (émail pour métaux).

Les variations des proportions d'acide borique dans un verre ne peuvent pas être illimitées : elles sont plus ou moins grandes, suivant la nature des différents oxydes métalliques et la proportion de silice qui entre déjà dans le verre.

Un excès de base amène la dévitrification, c'est-à-dire la cristallisation de borates et de silicates définis; la quantité de base qui provoque la dévitrification dépend de la rapidité du refroidissement.

Un excès d'acide borique amène la séparation du verre dans le bain en deux couches dont la supérieure est de l'acide borique à peu près pur et l'inférieure le verre limite saturé d'acide borique.

Le tableau suivant donne ces limites pour différents verres :

	Séparation d'acide borique pour une quantité de BoO^3 supérieure à	Dévitrification pour une quantité de BoO^3 inférieure à	
		Refroidissement lent.	Refroidiss. rapide.
Acide borique et soude	BoO^3	$NaO2BoO^3$	$NaO2BoO^3$
— lithine	BoO^3	$LiO5BoO^3$	$LiO\,3BoO^3$
— chaux	$CaO3BoO^3$	Tous.	$BoO^3 1,5CaO$
— magnésie	$4MgO3BoO^3$	»	Tous.
— oxyde de plomb	$PbO3BoO^3$	PbO^3BoO^3	$3PbOBoO^3$
— oxyde de zinc	$BoO^3 1,5ZnO$	Tous.	$BoO^3 1,5ZnO$

Fusibilité. — En général, dans une même série, les anomalies de fusibilité correspondent à celles de dilatation, comme on le voit très nettement sur les borates, d'après les résultats suivants :

$3PbO\ BoO^3$	445
$PbO\ BoO^3$	460
$PbO\ 2BoO^3$	585
$PbO\,2,5BoO^3$	660
$PbO\,3\ BoO^3$	540
BoO^3	430

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES VERRES, PAR M. L. GRENET.

La première série d'expériences dont M. L. Grenet rend compte a été faite en collaboration avec M. Chatenet. Le but de ces recherches était de déterminer les relations qui rattachent à la composition chimique du verre ses propriétés physiques les plus importantes au point de vue industriel : dilatation, ténacité, fusibilité et altérabilité.

Dans cette étude, une difficulté spéciale résulte de ce que les propriétés du verre ne sont pas, comme celles des corps cristallisés, entièrement définies par la composition chimique, la température et la pression.

Elles dépendent encore toutes, mais à des degrés divers, suivant la nature de la substance, du temps et aussi, comme pour les métaux, des tensions internes résultant des déformations antérieures.

Pour étudier l'influence de la composition chimique, il faut, autant que possible, rendre le temps et les tensions internes uniformes, ce qui est toujours difficile.

Dilatation. — On a cherché s'il n'existerait pas une relation simple entre la dilatation et la composition chimique, si cette propriété ne varie pas suivant une loi additionnelle comme la densité.

Pour élucider ce point, il fallait s'adresser, non à des verres industriels, toujours très complexes, ne permettant que des variations restreintes de composition, mais à des verres simples, préparés au laboratoire, avec des proportions aussi différentes que possible de leurs éléments constituants, pour étudier la fonction dans toute l'étendue réalisable.

Les tableaux suivants donnent les résultats relatifs à différentes natures de verres :

VERRES SILICIQUES.

Soude.		Potasse.		Plomb.	
$NaO\,2SiO^2$	1.318	$KO\,3SiO^2$	1.350	$PbO\,SiO^2$	848
$NaO\,6SiO^2$	924	$KO\,5SiO^2$	1.126	$PbO\,2SiO^2$	776
$NaO\,12SiO^2$	734	$KO\,7SiO^2$	1.017		

Ces résultats sont compatibles avec une loi additionnelle. Il n'en est pas de même des suivants :

VERRES BORIQUES.

Soude.		Plomb.		Lithine.	
$NaO\,2BoO^3$	953	$3PbO\,BoO^3$	1.270	$LiO\,3BoO^3$	678
$NaO\,2{,}5BoO^3$	704	$PbO\,BoO^3$	974	$LiO\,4BoO^3$	590
$NaO\,5{,}13BoO^3$	817	$PbO\,2BoO^3$	669	$LiO\,5BoO^3$	646
$NaO\,10{,}18BoO^3$	933	$PbO\,2{,}5BoO^3$	609	$LiO\,10BoO^3$	900
$NaO\,16{,}83BoO^3$	1.019	$PbO\,3BoO^3$	669	BoO^3	1.414
BoO^3	1.414	BoO^3	1.414		

Borate de zinc. $1{,}5ZnO\,BoO^3$ 374

Verre blanc et acide borique.		Verre à bouteilles et acide borique.	
Verre blanc	847	Verre à bouteilles	659
Verre 70,7 BoO^3 29,3	685	V. à bouteilles. 85 BoO^3 15	631
Verre 57,2 BoO^3 42,8	570	V. à bouteilles. 75 BoO^3 25 (dévitrifié)	600
Verre 38,59 BoO^3 61,41	596	V. à bouteilles. 70 BoO^3 30 (dévitrifié)	629
Verre 30,8 BoO^3 69,2	653	V. à bouteilles. 50 BoO^3 50 (dévitrifié)	858
BoO^3	1.414	BoO^3	1.414

Tous ces coefficients doivent être multipliés par 10^8.

On voit que lorsqu'on fait varier d'une façon continue la proportion d'acide borique, la dilatation commence à décroître et croît ensuite pour tendre à se rapprocher de celle de l'acide borique pur, qui est très élevée et supérieure à celle de tous les verres. C'est ce qui explique comment, suivant les cas, l'acide borique peut être employé pour abaisser le cofficient de dilatation (couverte de Sèvres), ou pour l'élever (émail pour métaux).

Les variations des proportions d'acide borique dans un verre ne peuvent pas être illimitées : elles sont plus ou moins grandes, suivant la nature des différents oxydes métalliques et la proportion de silice qui entre déjà dans le verre.

Un excès de base amène la dévitrification, c'est-à-dire la cristallisation de borates et de silicates définis; la quantité de base qui provoque la dévitrification dépend de la rapidité du refroidissement.

Un excès d'acide borique amène la séparation du verre dans le bain en deux couches dont la supérieure est de l'acide borique à peu près pur et l'inférieure le verre limite saturé d'acide borique.

Le tableau suivant donne ces limites pour différents verres :

	Séparation d'acide borique pour une quantité de BoO^3 supérieure à	Dévitrification pour une quantité de BoO^3 inférieure à	
		Refroidissement lent.	Refroidiss. rapide.
Acide borique et soude	BoO^3	$NaO2BoO^3$	$NaO2BoO^3$
— lithine	BoO^3	$LiO5BoO^3$	$LiO\,3BoO^3$
— chaux	$CaO3BoO^3$	Tous.	$BoO^3 1,5CaO$
— magnésie	$4MgO3BoO^3$	»	Tous.
— oxyde de plomb	$PbO3BoO^3$	PbO^3BoO^3	$3PbOBoO^3$
— oxyde de zinc	$BoO^3 1,5ZnO$	Tous.	$BoO^3 1,5ZnO$

Fusibilité. — En général, dans une même série, les anomalies de fusibilité correspondent à celles de dilatation, comme on le voit très nettement sur les borates, d'après les résultats suivants :

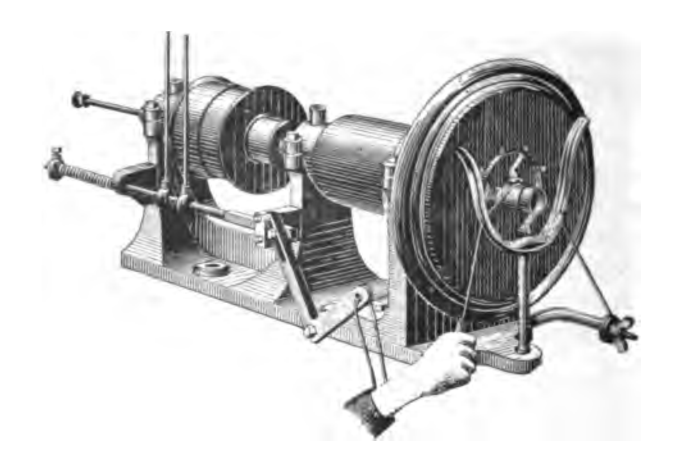
$3PbO\ BoO^3$	445
$PbO\ BoO^3$	460
$PbO\ 2BoO^3$	585
$PbO\,2,5BoO^3$	660
$PbO\,3\ BoO^3$	540
BoO^3	430

Ténacité — Elle est importante à connaître pour tous les usages mécaniques du verre (bouteilles, tuyaux, toitures).

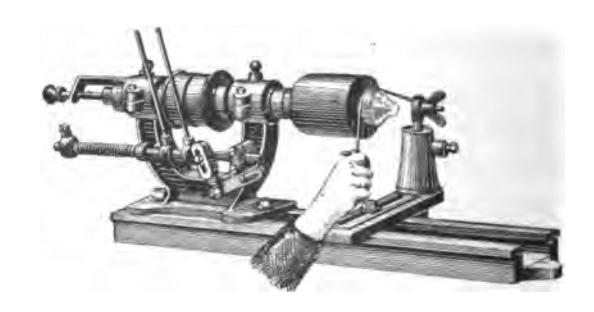
Les expériences faites antérieurement par divers savants donnent pour coefficient de résistance à la traction des résultats variant depuis 1 kilogramme par millimètre carré (flexion de longues verges) jusqu'à 20 kilogrammes (traction de fils fins).

D'après les premiers résultats obtenus, ces énormes écarts doivent être attribués à la diversité des modes d'essai (traction ou flexion), à la nature des éprouvettes essayées, mais surtout à la vitesse de mise en charge, la résistance diminuant quand la vitesse de mise en charge diminue.

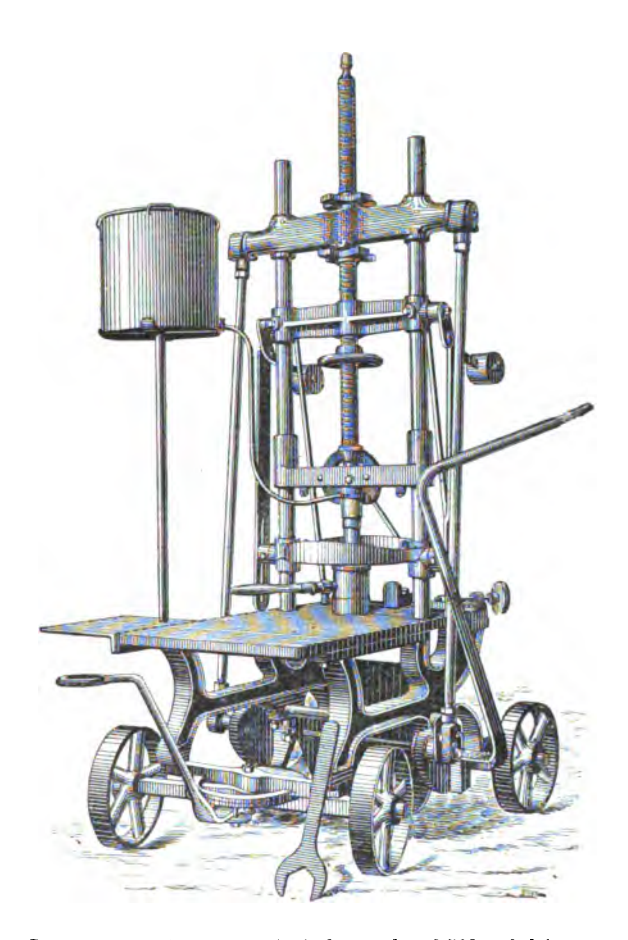
Les expériences faites sur les baguettes et sur les plaques montrent que les écarts entre les divers modes d'expérimentation diminuent à mesure que la vitesse de mise en charge devient plus lente, de telle sorte qu'il est permis de croire que l'accord se rétablirait avec une mise de charge infiniment lente.



Machine destinée à couper les verres de 5 à 10 millimètres d'épaisseur et de 5 à 15 centimètres de diamètre.



Machine à découper les verres minces.



Presse automatique permettant de mouler 3.500 gobelets par douze heures de travail Un courant d'eau refroidit et maintient à une température constante le noyau métallique qui sert à presser le verre contre les parois du moule.

Verres spéciaux pour l'optique, fabriqués par M. Mantois.

DENSITÉ.	NATURE DES VERRES.	INDICES DE RÉFRACTION POUR LES RAIES C Rouge.	D Jaune.	F Vert.	g Bleu.	h Violet.	F-1 / DISPERSION totale.	RAPPORTS DE DISPERSION de C à D	de D à F	de F à g	de g à h	DISPERSION totale.	DISPERSION moyenne de C à F	D-1 / F-C
2.433	Crown très léger	1.4983	1.5006	1.5064	1.5095	1.5139	32.46	0.151	0.372	0.196	0.281	0.01560	0.00810	61.8
2.609	Crown au zinc	1.5116	1.5142	1.5208	1.5240	1.5290	29.93	0.149	0.378	0.184	0.289	0.01740	0.00920	55.9
2.62	*Id.*	1.5140	1.5167	1.5233	1.5266	1.5317	29.60	0.153	0.370	0.190	0.267	0.01768	0.00930	55.5
2.643	*Id.*	1.5173	1.5199	1.5264	1.5297	1.5347	30.25	0.150	0.375	0.190	0.286	0.01740	0.00910	57.1
2.604	Crown H. D.	1.5104	1.5130	1.5199	1.5232	1.5285	28.73	0.143	0.382	0.183	0.292	0.01810	0.00950	54.0
2.65	*Id.*	1.5179	1.5206	1.5276	1.5310	1.5365	28.39	0.147	0.374	0.185	0.294	0.01858	0.00970	53.7
2.709	*Id.*	1.5228	1.5258	1.5333	1.5368	1.5429	26.60	0.149	0.376	0.172	0.304	0.02005	0.01050	50.0
2.712	*Id.*	1.5228	1.5257	1.5332	1.5369	1.5430	26.40	0.145	0.374	0.180	0.302	0.02020	0.01040	50.5
2.644	Crown lourd	1.5246	1.5276	1.5346	1.5379	1.5435	28.25	0.159	0.369	0.179	0.293	0.01892	0.01000	52.8
2.729	*Id*	1.5319	1.5319	1.5422	1.5459	1.5516	27.52	0.151	0.372	0.187	0.291	0.01970	0.01030	51.9
2.854	*Id.*	1.5441	1.5473	1.5551	1.5593	1.5657	25.68	0.150	0.362	0.194	0.294	0.02162	0.01100	49.7
2.86	*Id.*	1.5452	1.5483	1.5564	1.5604	1.5669	27.57	0.143	0.371	0.184	0.301	0.02176	0.01120	48.9
3.15	Baryum-Crown	1.5656	1.5686	1.5757	1.5794	1.5849	29.83	0.156	0.368	0.189	0.288	0.01930	0.01010	56.3
3.16	*Id.*	1.5666	1.5695	1.5761	1.5801	1.5854	30.63	0.157	0.367	0.197	0.279	0.01882	0.00980	58.1
3.161	*Id.*	1.5674	1.5702	1.5774	1.5808	1.5863	30.58	0.146	0.381	0.181	0.291	0.01888	0.01000	57.0
3.24	*Id.*	1.5748	1.5778	1.5852	1.5886	1.5944	29.86	0.157	0.376	0.174	0.293	0.01960	0.01010	55.5
3.546	*Id.*	1.5991	1.6023	1.6097	1.6135	1.6195	29.93	0.158	0.364	0.188	0.291	0.02037	0.01060	56.8
3.533	*Id.*	1.6000	1.6032	1.6106	1.6145	1.6204	29.93	0.158	0.365	0.188	0.289	0.02040	0.01060	56.9
3.538	*Id.*	1.6009	1.6037	1.6114	1.6149	1.6209	30.54	0.138	0.389	0.173	0.301	0.02002	0.01050	27.5
3.544	*Id.*	1.6006	1.6037	1.6114	1.6151	1.6211	29.88	0.150	0.375	0.180	0.295	0.02046	0.01080	55.9
3.571	*Id.*	1.6063	1.6095	1.6171	1.6210	1.6270	29.78	0.154	0.368	0.187	0.291	0.02072	0.01080	56.4
3.57	*Id.*	1.6073	1.6105	1.6183	1.6221	1.6284	29.39	0.149	0.372	0.182	0.298	0.02104	0.01100	55.5
3.63	*Id.*	1.6099	1.6133	1.6210	1.6251	1.6313	29.07	0.158	0.363	0.192	0.287	0.02136	0.01110	55.3
2.997	Flint léger à la Baryte	1.5487	1.5520	1.5594	1.5633	1.5691	27.50	0.160	0.362	0.195	0.282	0.02034	0.01070	51.6
3.006	*Id.*	1.5496	1.5528	1.5602	1.5642	1.5700	27.44	0.158	0.363	0.194	0.285	0.02042	0.01060	52.2
3.099	*Id.*	1.5599	1.5631	1.5708	1.5750	1.5811	26.82	0.153	0.363	0.194	0.290	0.02128	0.01140	49.3
3.088	*Id.*	1.5611	1.5644	1.5724	1.5767	1.5831	26.03	0.150	0.365	0.193	0.293	0.02199	0.01130	49.9
3.097	*Id.*	1.5613	1.5647	1.5726	1.5769	1.4832	26.11	0.153	0.361	0.196	0.290	0.02193	0.01130	49.9
3.135	*Id.*	1.5646	1.5678	1.5758	1.5798	1.5863	26.58	0.150	0.366	0.185	0.299	0.02166	0.01170	50.7
3.156	*Id.*	1.5665	1.5698	1.5777	1.5819	1.5882	26.59	0.154	0.364	0.191	0.291	0.02173	0.01160	50.9
3.233	*Id.*	1.5744	1.5778	1.5861	1.5903	1.5971	25.81	0.150	0.366	0.185	0.299	0.02271	0.01270	49.3
3.218	*Id.*	1.5747	1.5780	1.5863	1.5906	1.5973	25.98	0.147	0.367	0.191	0.295	0.02257	0.01200	49.8
3.24	*Id.*	1.5774	1.5810	1.5901	1.5947	1.6021	23.83	0.146	0.366	0.189	0.299	0.02476	0.0 860	45.7
3.284	*Id.*	1.5816	1.5845	1.5930	1.5973	1.6043	25.43	0.152	0.365	0.181	0.299	0.02312	0.02010	48.7
3.81	Flint très dense	1.6417	1.6469	1.6603	1.6673	1.6787	17.85	0.141	0.361	0.189	0.309	0.03700	0.02230	34.8
3.977	*Id.*	1.6578	1.6636	1.6779	1.6854	1.6980	16.89	0.144	0.356	0.188	0.312	0.04012	0.020 0	33.0
4.216	*Id.*	1.6872	1.6936	1.7095	1.7180	1.7321	15.77	0.143	0.354	0.189	0.314	0.04498	0.02230	31.1
4.26	*Id.*	1.6960	1.7025	1.7189	1.7278	1.7421	15.58	0.142	0.355	0.191	0.311	0.04616	0.02290	30.7
4.476	*Id.*	1.7213	1.7285	1.7467	1.7567	1.7727	14.53	0.140	0.353	0.195	0.312	0.05140	0.02540	28.0
4.72	Flint extra dense	1.7483	1.7561	1.7759	1.7867	1.8044	13.84	0.139	0.353	0.192	0.316	0.05608	0.02760	27.4
5.004	*Id.*	1.7703	1.7784	1.7996	1.8111	1.8299	13.42	0.135	0.355	0.193	0.316	0.05959	0.02930	26.5

Pour les vitres jaunes de qualité ordinaire, on fond le mélange suivant :

Sable	100 kilog.	Charbon de bois	2-4 kilog.
Sulfate de soude	36 —	Oxyde de manganèse	1 —
Pierre à chaux	24 —		

Cette composition fournit un verre qui s'éclaircit mal après la coulée. On recommande donc d'ajouter à la charge une certaine quantité de verre de même composition provenant d'une coulée antérieure.

Violet. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cobalt	50 gr.
Peroxyde de manganèse	4 kilog.

Noir. — Au premier mélange on ajoute :

Oxyde de cobalt	500 gr.
Oxyde de cuivre	3 —
Peroxyde de manganèse	3 —
Oxyde de nickel	200 —

Les vitres de couleur se préparent également par doublage. Comme dans la fabrication des vases, bouteilles, flacons, etc., on commence par souffler une ampoule de verre coloré que l'on double ensuite d'une enveloppe de verre blanc. Les principales teintes que l'on emploie dans ce cas sont : le rose, le rouge rubis, le jaune, le vert et le bleu. Le verre coloré lui-même, qui doit former l'enveloppe intérieure se prépare en fondant les mélanges suivants :

ROSE.

Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse raffiné	16 —
Borax	10 —
Nitrate de potasse	10 —
Craie pulvérisée	10 —
Acide arsénieux	44 —
Sel marin	4 —
Minium	20 —
Oxyde de zinc	200 gr.
Or	40 — à l'état de chlorure.

L'oxyde de zinc est additionné d'une solution de chlorure d'or renfermant 40 grammes d'or métallique. On évapore le tout, et c'est le mélange sec que l'on introduit dans la composition.

Rouge rubis. — Pour le rouge rubis, on fait usage de la composition suivante :

Sable	60 kilog.	Sel marin	3 kilog.
Carbon. de potasse raffiné	16 —	Nitrate de potasse	10 —
Calcaire	8 —	Oxydule de cuivre	1 —
Minium	20 —	Oxyde de zinc	1 —
Borax	10 —	Battitures de fer	500 gr.

La teinte jaune s'obtient avec la composition indiquée pour le rose ; mais au chlorure d'or on substitue 300 grammes de chlorure d'argent.

Pour les autres teintes (vert, bleu, violet), on emploie le premier mélange que nous avons indiqué tout à fait au début pour la fabrication du verre à vitre blanc. On se contente de forcer un peu la proportion de substances colorantes.

Ainsi pour le *Vert* on emploiera :

Oxyde de cuivre	5 kilog.
Chromate de potasse	2 —
Oxyde de fer	1 —
Borax	5 —

Pour le *Bleu :*

Oxyde de cuivre	3 —
Oxyde de cobalt	0.500
Borax	3 kilog.

Enfin pour le *Violet* on emploiera :

Oxyde de cobalt	0.100
Peroxyde de manganèse	6 »
Borax	3 »

FABRICATION DES VERRES COLORÉS PAR DOUBLAGE.

Actuellement le procédé du doublage s'applique aux verres colorés, même lorsque ces verres peuvent être obtenus à l'état massif. Pour les verres transparents, les colorations les plus usuelles sont : le rouge rubis (à l'or ou au cuivre), le jaune (à l'argent ou mieux au sulfure de cadmium), le rouge orangé, le bleu clair et le bleu foncé, le vert et enfin le violet. Le choix des colorations est encore plus riche lorsqu'il s'agit des verres opaques (verre opale, verre d'albâtre, etc.), car la composition même de ces verres permet de varier les nuances à l'infini. Outre le verre-émail blanc, nous connaissons le verre jaune orangé, jaune citron, rose, violet, bleu et vert.

Les verres colorés que l'on emploie ainsi au doublage des verres transparents ou opaques font l'objet d'une fabrication spéciale dans quelques usines d'Allemagne et d'Autriche et sont livrés dans le commerce sous forme de blocs.

Ce travail du doublage est une opération extrêmement délicate qui exige avant tout des ouvriers expérimentés. Les différents verres ne présentant aucune coloration à l'état fondu, il est essentiel que l'emplacement de chaque creuset soit bien déterminé à l'avance. De plus, on conçoit l'importance qu'il faut attacher à la qualité des creusets de fusion. Leur rupture, qui n'a pas grande importance dans le cas de cristal ordinaire, présente au contraire de graves inconvénients lorsqu'il s'agit de verres de couleur.

Les verres colorés que l'on emploie au doublage doivent être de teinte très pure et uniforme. Ils doivent être exempts de stries, de bulles et de soufflures, car ces défauts risquent de se retrouver, parfois même d'une façon plus accentuée, dans l'enduit final. Enfin les différents verres que l'on applique

les uns sur les autres doivent avoir les mêmes coefficients de dilatation et d'élasticité, afin de prévenir toute rupture soit pendant le refroidissement, soit pendant le travail du verre à froid. Ce dernier point devient très difficile à réaliser lorsqu'on superpose jusqu'à trois et quatre couches de verres différents.

Il y a lieu de distinguer le doublage simple du doublage multiple. Dans le premier cas, l'ouvrier commence par souffler une ampoule de verre blanc qu'il teinte ensuite en la plongeant dans le verre coloré. En général, cette ampoule colorée est plongée une seconde fois dans un creuset à verre blanc, en sorte que l'enduit coloré se trouve emprisonné entre deux couches de verre incolore. Comme nous l'avons déjà dit, ce travail est extrêmement délicat en raison des difficultés que l'on éprouve à obtenir des couches d'épaisseur uniforme sur toute la surface de l'objet. Aussi lui a-t-on substitué dans bien des cas un autre procédé qui consiste en ceci : on commence par souffler une ampoule en se servant du verre coloré qui doit former l'enveloppe extérieure; puis, au moyen de cette ampoule, on façonne le récipient que l'on cherche à produire. A l'intérieur de ce récipient on souffle alors une seconde ampoule en se servant du verre coloré qui doit former l'enveloppe intérieure et finalement on travaille le tout d'après les procédés ordinaires. En suivant cette méthode, on peut arriver à superposer beaucoup plus facilement différentes teintes. Extérieurement on commence toujours par une couche de verre incolore et transparent. A l'intérieur, les différentes couches colorées sont recouvertes d'un verre-émail opaque, et finalement d'un verre transparent coloré, vert, bleu, jaune ou rose.

Nous donnerons maintenant quelques détails sur la composition de ces différents verres.

Les anciens verres-émaux, composés de matières premières bien blanches et plombeuses, étaient rendus opaques au moyen d'oxyde de zinc. Plus tard, l'opacité a été obtenue au moyen de phosphate de chaux ou de cryolithe, et c'est encore à ces substances qu'on s'adresse aujourd'hui. Toutefois, pour obtenir des produits plus purs et une opacité plus parfaite, on leur mélange actuellement une forte proportion d'acide arsénieux. Outre que cette substance communique au verre une teinte laiteuse d'un effet très agréable, les vapeurs d'acide arsénieux qui se dégagent pendant toute la durée de la fusion ont pour effet de mélanger intimement la masse fluide, de la purifier et de la rendre parfaitement homogène. Parmi les innombrables formules de compositions pour verres-émaux blancs, nous donnerons les quatre suivantes :

I		II	
Sable.	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse. . .	8 —	Carbonate de potasse.. .	8 —
Acide arsénieux.	10 —	Minium.	15 —
Phosphate de chaux. . . .	6 —	Acide arsénieux..	10 —
Minium.	10 —	Blanc de zinc	5 —
Déchets de verre plombeux	30 —	Salpêtre.	4 —
		Phosphate de chaux. . .	6 —
		Déch. de verre plombeux.	30 —

III		IV	
Sable	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse	6 —	Carbonate de potasse	8 —
Carbonate de soude	6 —	Minium	15 —
Cryolithe	6 —	Acide arsénieux	8 —
Minium	12 —	Salpêtre	4 —
Acide arsénieux	8 —	Blanc de zinc	3 —
Salpêtre	4 —	Phosphate de chaux	6 —
Déchets de verre plombeux	30 —	Déch. de verre plombeux	30 —

On commence par broyer grossièrement les déchets de verre plombeux et on les mélange aux autres subtances finement pulvérisées. La masse est fondue comme d'habitude, mais l'ouvrier chargé de la conduite du four doit veiller à ce que la masse ne déborde pas. Cet accident est assez fréquent par suite de la formation d'une écume abondante due à la volatilisation de l'acide arsénieux. Dans ce cas on projette de l'eau froide à la surface du verre fondu. Mais, d'une façon générale, il sera toujours plus prudent de ne pas remplir complètement les creusets. Une fois la masse bien fluide, on la coule dans une cuve remplie d'eau froide. Puis, après avoir décanté l'eau, on concasse le verre et on le fond à nouveau. Pendant cette seconde fusion, la masse est agitée au moyen de branches de bois vert à dix ou quinze reprises, afin de la purifier. Toutes ces opérations conduisent forcément à des pertes en matières premières; mais les produits qu'elles fournissent sont d'une pureté beaucoup plus grande. Il reste à couler le verre, que l'on façonne en blocs. Ces blocs sont emmagasinés et sont refondus au fur et à mesure des besoins de la fabrication.

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode générale de fabrication de verres opaques blancs. Les verres opaques de couleur se préparent d'une façon identique par adjonction de certains oxydes métalliques destinés à leur communiquer une teinte déterminée.

La teinte rose s'obtient au moyen de pourpre de Cassius ou de chlorure d'or, la teinte bleue au moyen d'oxyde de cuivre et d'oxyde de cobalt, la teinte verte au moyen d'oxyde de cuivre et d'oxyde de chrome. La teinte jaune peut être réalisée beaucoup plus facilement avec les verres opaques qu'avec les verres transparents ordinaires. A cet effet, on fait usage d'oxyde de fer ou des diverses combinaisons du soufre, de l'antimoine, du tungstène et du cadmium.

Voici d'ailleurs quelques formules de verres opaques colorés :

BLEU CLAIR.		BLEU FONCÉ.	
Sable	50 kilog.	Sable	50 kilog.
Carbonate de potasse	8 —	Carbonate de potasse	8 —
Salpêtre	4 —	Salpêtre	4 —
Acide arsénieux	10 —	Acide arsénieux	10 —
Minium	15 —	Minium	15 —
Cryolithe	5 —	Cryolithe	5 —
Spath fluor	5 —	Spath fluor	5 —
Oxyde de cuivre	1.5—	Oxyde de cuivre	2 —
Oxyde de cobalt	100 gr.	Sulfate de cuivre	2 —
		Oxyde de cobalt	150 gr.

LÉGISLATION

ET

HYGIÈNE DES VERRERIES

Par M. le professeur RICHE
Membre de l'Académie de médecine.

Deux siècles se sont écoulés depuis que Colbert, au prix de nombreuses difficultés et à grands frais, parvenait à introduire en France quelques ouvriers de choix pour nous apprendre les procédés des verreries de Venise.

Aujourd'hui, c'est par centaines que l'Italie envoie des enfants, sans instruction technique, comme apprentis dans nos verreries. Ils viennent embrigadés, conduits par des entrepreneurs chargés par les parents de les embaucher dans les fabriques. Le meneur en prend la responsabilité vis à vis du maître-verrier; il les loge, les entretient. On est, d'ordinaire, satisfait de leur travail et de leur docilité, leur âge est de treize ans au moins.

A quoi tient ce singulier commerce d'enfants étrangers qui envahissent notre pays? D'où provient le délaissement d'une de nos industries, naguère florissante, dans laquelle les enfants ont recherché, de génération en génération, la *place* de verrier qu'avaient occupée leurs ancêtres?

Du manque général d'enfants en France, et spécialement de la pénurie d'enfants parmi les verriers; de ce double fait que l'ouvrier croit élever la condition de son fils en l'enlevant au travail manuel de l'industrie, ou qu'il entrevoit pour lui, dans le commerce, l'existence plus douce, la vie plus facile.

Les maîtres-verriers ont lutté et ont conjuré le péril tant qu'ils ont été soumis à la loi du 19 mai 1874. On les a vus se mettre en quête de pères de famille français, ayant plusieurs enfants, et les introduire dans leur usine, le père comme homme de peine, les enfants comme jeunes ouvriers.

Les exigences de ces entrepreneurs de famille, qui abusent du besoin qu'on a de leurs services, rendent ces contrats fort onéreux et créent aux industriels des difficultés de toute nature.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LES VERRES, PAR M. L. GRENET.

La première série d'expériences dont M. L. Grenet rend compte a ét faite en collaboration avec M. Chatenet. Le but de ces recherches était de déterminer les relations qui rattachent à la composition chimique du verre ses propriétés physiques les plus importantes au point de vue industriel : dilatation, ténacité, fusibilité et altérabilité.

Dans cette étude, une difficulté spéciale résulte de ce que les propriétés du verre ne sont pas, comme celles des corps cristallisés, entièrement définies par la composition chimique, la température et la pression.

Elles dépendent encore toutes, mais à des degrés divers, suivant la nature de la substance, du temps et aussi, comme pour les métaux, des tensions internes résultant des déformations antérieures.

Pour étudier l'influence de la composition chimique, il faut, autant que possible, rendre le temps et les tensions internes uniformes, ce qui est toujours difficile.

Dilatation. — On a cherché s'il n'existerait pas une relation simple entre la dilatation et la composition chimique, si cette propriété ne varie pas suivant une loi additionnelle comme la densité.

Pour élucider ce point, il fallait s'adresser, non à des verres industriels, toujours très complexes, ne permettant que des variations restreintes de composition, mais à des verres simples, préparés au laboratoire, avec des proportions aussi différentes que possible de leurs éléments constituants, pour étudier la fonction dans toute l'étendue réalisable.

Les tableaux suivants donnent les résultats relatifs à différentes natures de verres :

VERRES SILICIQUES.

Soude.	Potasse.	Plomb.
$NaO2SiO^2$ 1.318	$KO3SiO^2$ 1.350	$PbOSiO^2$ 848
$NaO6SiO^2$ 924	$KO5SiO^2$ 1.126	$PbO2SiO^2$ 776
$NaO12SiO^2$ 734	$KO7SiO^2$ 1.017	

Ces résultats sont compatibles avec une loi additionnelle. Il n'en est pas de même des suivants :

VERRES BORIQUES.

Soude.		Plomb.		Lithine.	
$NaO2BoO^3$	953	$3PbO\ BoO^3$	1.270	$LiO\ 3BoO^3$	678
$NaO2,5BoO^3$	704	$PbO\ BoO^3$	974	$LiO\ 4BoO^3$	590
$NaO5,13BoO^3$	817	$PbO\ 2BoO^3$	669	$LiO\ 5BoO^3$	646
$NaO10,18BoO^3$	933	$PbO2,5BoO^3$	609	$LiO10BoO^3$	900
$NaO16,83BoO^3$	1.019	$PbO3\ BoO^3$	669	BoO^3	1.414
BoO^3	1.414	BoO^3	1.414		

Borate de zinc. $1,5ZnOBoO^3$ 374

Verre blanc et acide borique.		Verre à bouteilles et acide borique.	
Verre blanc	847	Verre à bouteilles	659
Verre 70,7 ; BoO^3 29,3	685	V. à bouteilles. 85 ; BoO^3 15	631
Verre 57,2 ; BoO^3 42,8	570	V. à bouteilles. 75 ; BoO^3 25 (dévitrifié)	600
Verre 38,59 ; BoO^3 61,41	596	V. à bouteilles. 70 ; BoO^3 30 (dévitrifié)	629
Verre 30,8 ; BoO^3 69,2	653	V. à bouteilles. 50 ; BoO^3 50 (dévitrifié)	858
BoO^3	1.414	BoO^3	1.414

Tous ces coefficients doivent être multipliés par 10^8.

On voit que lorsqu'on fait varier d'une façon continue la proportion d'acide borique, la dilatation commence à décroître et croît ensuite pour tendre à se rapprocher de celle de l'acide borique pur, qui est très élevée et supérieure à celle de tous les verres. C'est ce qui explique comment, suivant les cas, l'acide borique peut être employé pour abaisser le cofficient de dilatation (couverte de Sèvres), on pour l'élever (émail pour métaux).

Les variations des proportions d'acide borique dans un verre ne peuvent pas être illimitées : elles sont plus ou moins grandes, suivant la nature des différents oxydes métalliques et la proportion de silice qui entre déjà dans le verre.

Un excès de base amène la dévitrification, c'est-à-dire la cristallisation de borates et de silicates définis; la quantité de base qui provoque la dévitrification dépend de la rapidité du refroidissement.

Un excès d'acide borique amène la séparation du verre dans le bain en deux couches dont la supérieure est de l'acide borique à peu près pur et l'inférieure le verre limite saturé d'acide borique.

Le tableau suivant donne ces limites pour différents verres :

	Séparation d'acide borique pour une quantité de BoO^3 supérieure à	Dévitrification pour une quantité de BoO^3 inférieure à	
		Refroidissement lent.	Refroidiss. rapide.
Acide borique et soude	BoO^3	$NaO2BoO^3$	$NaO2BoO^3$
— lithine	BoO^3	$LiO5BoO^3$	$LiO\,3BoO^3$
— chaux	$CaO3BoO^3$	Tous.	$BoO^3 1,5CaO$
— magnésie	$4MgO3BoO^3$	»	Tous.
— oxyde de plomb	$PbO3BoO^3$	PbO^3BoO^3	$3PbOBoO^3$
— oxyde de zinc	$BoO^3 1,5ZnO$	Tous.	$BoO^3 1,5ZnO$

Fusibilité. — En général, dans une même série, les anomalies de fusibilité correspondent à celles de dilatation, comme on le voit très nettement sur les borates, d'après les résultats suivants :

$3PbO\ BoO^3$	445
$PbO\ BoO^3$	460
$PbO\ 2BoO^3$	585
$PbO\,2,5BoO^3$	660
$PbO\,3\ BoO^3$	540
BoO^3	430

quelles industries sont les 996 garçons diplômés et à quel travail ils sont occupés.

Au dire des industriels, la situation s'améliorerait si le certificat était abordable à l'intelligence et au travail moyens des enfants, parce que l'inéluctable loi de l'offre et de la demande ferait refluer vers l'industrie des enfants diplômés, si leur nombre devenait notable.

Dans ces circonstances, j'ai tenu à me renseigner sur la difficulté réelle de l'examen; en voici le programme. Il comprend des compositions écrites et orales.

Les compositions écrites renferment, outre une dictée d'une page, servant comme épreuve d'écriture, une composition française, deux problèmes d'arithmétique (fractions, règles de trois, d'intérêt, d'escompte), l'instruction morale et civique. L'examen oral porte sur la grammaire française, l'arithmétique (théorie), l'histoire de France, la géographie physique et historique de la France, les éléments des sciences naturelles, physiques et mathématiques, ainsi que leurs applications aux arts et à l'hygiène.

Ce programme paraît surchargé, mais le programme n'est rien, c'est la manière dont on l'applique qu'il faut considérer, et l'on affirme qu'il est exigé avec rigueur.

Que l'instituteur traite de toutes les questions énumérées ci-dessus, c'est parfait; il donne ainsi de l'intérêt à sa classe. La masse des enfants en retient quelques bribes, et certains élèves peuvent y trouver la voie qui convient à leur esprit. Mais, il me paraît impossible qu'un enfant ordinaire. de onze à douze ans, acquière une connaissance suffisante de cet ensemble pour qu'il puisse faire des compositions convenables. Il y a lieu de penser avec les industriels qu'un enfant d'intelligence moyenne ne s'assimilera qu'exceptionnellement toutes ces matières, et que la plupart de ceux qui se destinent au travail manuel se rebuteront et ne tenteront même pas d'obtenir le certificat. On ne doit pas oublier qu'il n'y a pas de sanction à la fin des classes; l'enfant, à treize ans, quitte l'école nécessairement, avec ou sans le certificat.

En somme, actuellement, le certificat n'existe pas pour les enfants qui se destinent à l'industrie du verre, la seule qui nous occupe.

Au point de vue moral, la loi, qui a reculé à treize ans la fin des études et l'entrée des ateliers, a produit des résultats fâcheux. Avec la loi de 1874, la fin des classes coïncidait sensiblement avec l'époque de la première communion, qui est restée, pour la plupart des régions de notre pays, la date fatidique marquant la clôture des études primaires. A partir de ce moment, le paysan et l'artisan des campagnes ne pensent qu'à reprendre leur enfant pour l'envoyer aux champs et tout subterfuge est bon pour un grand nombre.

D'autre part, les commissions scolaires montrent presque partout une faiblesse déplorable en ce qui a trait à l'assiduité des enfants et elles accordent, sans motif, des dispenses de fréquentation scolaire. La plupart de ces commissions même fonctionnent de la façon la plus irrégulière quand elles fonctionnent. A quoi bon, disent ceux de leurs membres qui ont souci du respect de la loi? Les sanctions dont nous disposons sont illusoires plus que

réelles. Un moment finit, il est vrai, par arriver où l'affichage, à la porte de la mairie, du nom des parents de l'enfant réfractaire est ordonné et a lieu; mais c'est, pour le grand nombre, un bien mince souci que compense largement le petit salaire rapporté par l'enfant.

Quant à ceux, trop nombreux hélas, qui sont abandonnés sans surveillance suffisante, c'est l'oisiveté avec ses tristes conséquences.

A Paris, ce serait pis encore. Il y a sur le pavé, plusieurs centaines, plusieurs milliers peut-être d'enfants, en âge de scolarité, qui sont condamnés au vagabondage par le manque de place dans les écoles. Le Conseil municipal s'est ému, récemment encore, de cette situation. On va bâtir... mais, en attendant, les expectants, comme on les désigne, restent dans la rue.

La criminalité s'accroît de jour en jour, répète-t-on partout, elle s'étend surtout chez les jeunes gens, elle atteint l'enfance; peut-il en être autrement pour cette quantité d'enfants errants, exposés aux plus dangereuses fréquentations! Le sentiment moral s'émousse peu à peu et l'atrophie morale est suivie, à brève échéance, par l'atrophie physique : voilà le facteur principal de l'arrêt du développement matériel, et c'est sur ce point surtout que doivent être appliqués des remèdes efficaces; ce qui ne veut pas dire que la surveillance du travail des enfants ne doit pas être poursuivie, comme elle l'est par le service d'inspection depuis 1892.

En résumé, d'une part, l'instruction des enfants destinés à l'industrie n'a pas réalisé de progrès sensibles, puisqu'ils n'arrivent pas à obtenir le certificat d'études à douze ans. D'autre part, leur état moral ne fait qu'empirer parce qu'il n'y a pas de sanction pour le manque d'assiduité à l'école, et cette déchéance morale conduit à la déchéance physique plus sûrement que l'excès de travail qu'il faut d'ailleurs empêcher.

En présence de ces faits incontestables, ne serait-il-pas rationnel, soit de revenir à la limite de douze ans pour l'admission dans les ateliers, soit de faciliter, par des réductions du programme classique, l'obtention du certificat de capacité pour qu'elle ne soit pas une infime exception chez les enfants ayant atteint la douzième année?

Et d'abord la fixation de la limite de treize ans a-t-elle donné lieu à une enquête médicale? Je n'en ai pas trouvé trace, tandis que la réglementation du travail des jeunes filles et des femmes a été très sagement l'objet d'une consultation directe, demandée par le gouvernement à l'Académie de médecine.

On a dit que la limite de treize ans avait recueilli 308 avis favorables contre 138. Il ne pouvait en être autrement, par suite de la promulgation de la loi qui avait fixé à treize ans la fin des études, car la plupart des réponses favorables se résument à celle-ci : « Treize ans pour faire concorder la loi sur le travail des enfants avec la loi sur l'instruction obligatoire ».

Il convient de remarquer que beaucoup de commissions ou de personnes, ayant fait de ce grave sujet une étude approfondie, ont conclu en faveur de la limite de douze ans. Citons la commission supérieure du travail des enfants dans le département de la Seine, statuant sur un rapport très étudié et voté à l'unanimité par la sous-commission qu'elle avait nommée;

ainsi que M. l'inspecteur-divisionnaire Laporte, l'homme, à notre avis, le plus compétent en cette matière.

« Douze ans, dit-il. Modifier la loi de 1882 pour la mettre en harmonie avec la nouvelle loi. Il est indispensable de faire coïncider la sortie de l'école avec l'entrée à l'atelier. L'enfant peut avoir son certificat à partir de onze ans. Si l'on fixait à treize ans l'entrée à l'atelier, certains enfants resteraient deux ans sans pouvoir apprendre un métier. Il faut donc ramener à douze ans l'âge fixé par la loi du 28 mars 1882. »

Au cours de ces enquêtes a eu lieu, en 1890, la conférence internationale de Berlin qui a émis le vœu de fixer à douze ans l'âge d'admission dans les établissements industriels, sauf pour les pays méridionaux où la limite serait de dix ans. La loi allemande a, cependant, comme la loi française, admis l'âge de treize ans; nous ferons tristement remarquer que l'Allemagne n'est pas pauvre en enfants. D'autre part, un maître-verrier de Reims, M. Charbonneau, m'a déclaré, pour l'avoir vu, qu'en Allemagne, les jeunes filles sont employées dans les verreries aux mêmes travaux que les garçons ; pratique suivie aussi en Belgique et qui, fort heureusement, jusqu'à ce jour, ne s'est pas acclimatée en France.

La Belgique a récemment voté, de nouveau, l'admission des enfants à douze ans.

L'Angleterre qui, la première, a créé des lois protectrices de l'enfance dans l'industrie a conservé la limite de onze ans, mais sous la réserve que l'enfant ne travaillera que la demi-journée et suivra l'école.

Telles étaient les conditions de la loi de 1874, de *demi-temps*, qui sont à mon avis, pour les verreries du moins, préférables aux autres; l'enfant tout jeune est le mieux approprié au travail rapide, qui consiste à porter de petits objets, à recuire, à réchauffer; un enfant de quatorze à quinze ans, surtout quand il débute à cet âge, l'accomplit moins aisément; un adulte se fatiguera trop vite et ne pourra pas exécuter cette gymnastique. On a renoncé en France, d'un commun accord, dans les autres industries, au système du demi-temps, parce qu'il se concilie mal avec le travail par équipes, que la surveillance du temps relatif d'études et d'atelier est difficile et prête à la fraude.

Il est en désaccord avec la loi sur l'instruction obligatoire jusqu'à treize ans : telle a été la raison dominante.

Une journée coupée en deux parties distinctes — école, travail manuel — est bien appropriée à la jeunesse, les écoles d'Arts et Métiers sont là pour le prouver. Elle l'est mieux encore pour la nature mobile de l'enfant, qui a besoin de mouvement, de changement physique et intellectuel. La loi de 1874, avec l'école jusqu'à quatorze ans, était plus logique, soit pour l'enfant, soit pour le travail de la verrerie.

Ces difficultés sont le résultat fatal d'une loi générale, uniforme ; couler dans le même moule le travail d'un verrier, d'un chaudronnier, d'une modiste, me semble un problème insoluble.

Le législateur de 1892, lui-même, acceptait implicitement douze ans lorsqu'il autorisait l'entrée, à cet âge, des enfants munis des certificats d'étude

et d'aptitude physique ; il ne pouvait certainement pas prévoir qu'il n'en existerait pas.

Il résulte de ce qui précède — contraventions frappant presque exclusivement les verriers — tentatives insuffisantes d'embauchement d'enfants français autres que ceux de la profession, — introduction d'enfants italiens, — extinction de fours dans nombre d'usines, — qu'il n'existe pas en France un nombre d'enfants, de treize ans et plus, suffisant pour alimenter ses verreries.

Et si la pépinière n'existe pas, que deviendra la plantation dans un bref délai !

Ou bien le travail des verreries ira s'amoindrissant, ou bien le recrutement des ouvriers se fera par les étrangers, pendant la période de transition que traverse la verrerie ; c'est-à-dire avant que la machine perfectionnée ait remplacé l'ouvrier habile.

Le remède efficace serait l'abaissement à douze ans de la limite d'entrée dans l'industrie. Dans le cas où le législateur rejetterait cette solution, on atténuerait le mal en diminuant les difficultés de l'examen scolaire de façon que le certificat fut obtenu par un enfant de valeur moyenne.

On s'exagère beaucoup les inconvénients du travail des enfants dans une verrerie dirigée suivant les règlements actuels ; quant à celles dont le patron n'est pas consciencieux, le nombre des contraventions, signalé plus haut, montre que le service de l'inspection est organisé de manière à réduire les industriels réfractaires.

D'une façon générale, le travail est sain, parce qu'il est opéré dans de vastes halles, aérées et au grand jour, bien différent du travail dans les mines, de celui qu'enfants, jeunes filles, ouvriers, exécutent dans l'encombrement des filatures, au milieu du bruit des métiers, dans un air mal renouvelé, rempli de vapeur et de poussières. Je ne reviendrai pas sur ce qui a été dit, à savoir que le travail de l'enfant verrier est en harmonie avec les exigences de sa nature. Je n'insisterai que sur les précautions hygiéniques et sur la protection minutieuse des lois actuelles.

Le décret du 13 mai 1893 s'exprime ainsi dans son article 7 : **Les enfants au-dessous de treize ans ne pourront pas être employés à cueillir et à souffler le verre.** Or, cette prescription coïncide avec ce qui se passe dans la pratique de la gobeletterie de cristal et de verre ; le plus jeune enfant, dit le porteur à l'arche, ne cueille ni ne souffle le verre. Le décret du 15 juillet 1893 revient sur ce point et précise pour les enfants de l'âge de treize ans et au-dessus : leur travail doit consister à présenter les outils, faire les premiers cueillages, aider au soufflage et au moulage, porter dans les fours à recuire, en retirer les objets.

Jusqu'à seize ans, ils ne pourront cueillir un poids de verre supérieur à 1.000 grammes. Il est question de réduire ce poids à 500 grammes, ce qui me paraît exagéré, parce que les cannes ordinaires de verrerie n'ont plus le poids et la longueur d'autrefois, et qu'il ne s'agit que du simple cueillage et non d'un soufflage.

On doit aussi faire remarquer que la substitution des fours à bassins aux

fours à creusets a simplifié le travail et facilité le cueillage du verre parce qu'il est toujours prêt pour le travail et que le niveau du bain étant élevé et toujours au même point, on n'a plus à déployer autant de force que lorsqu'il fallait faire le cueillage au fond des pots.

Si cette disposition était adoptée, ce serait un coup terrible pour les verreries à bouteilles, si éprouvées par des crises continuelles, qui sont dans un état d'infériorité marquée vis-à-vis des verreries belges et allemandes, parce que le poids nécessaire à la fabrication d'une bouteille est de 600 à 1.000 grammes.

Le même décret, du 3 mai 1893, prohibe le soufflage par la bouche aux enfants au-dessous de seize ans, dans les fabriques de bouteilles et de verres à vitre. Cette interdiction très sage, et généralement suivie, ne s'applique pas dans la gobeletterie, parce que le poids de verre cueilli est toujours très faible, de 20 à 150 ou 200 grammes.

Il est exigé enfin que, dans les verreries où le soufflage se fait à la bouche, un embout personnel soit mis à la disposition de chaque enfant âgé de moins de dix-huit ans.

Il serait mieux que tout souffleur, qu'il ait ou n'ait pas dix-huit ans, prît cette précaution, mais l'insouciance rend très difficile, on pourrait dire illusoire, l'exécution de cette mesure.

Elle est, d'ailleurs, moins utile qu'on ne le pense généralement, aujourd'hui du moins, parce qu'il y a des visites médicales dans la plupart des établissements, que l'on éloigne les syphilitiques ou qu'on les emploie à des travaux spéciaux, et que ce mode de contagion, signalé en 1858 par Rollet, a un succédané fréquent, la contagion par la bouteille de vin ou d'eau, qui se passe de l'un à l'autre.

Parmi les maladies professionnelles, il y a lieu de faire une remarque sur l'opinion, accréditée par quelques hygiénistes, que l'effort continu et violent de l'expiration détermine fréquemment l'emphysème pulmonaire chez les verriers.

Cette opinion, plutôt théorique que pratique, provient de ce qu'ils supposent que l'insufflation se fait avec l'air des poumons. Ce ne peut être que le cas des mauvais ouvriers; tout chimiste ou souffleur de verre sait que l'air qu'il lance dans son chalumeau est aspiré par le nez et chassé dans l'appareil directement par le jeu des muscles des joues. MM. les docteurs Schmitt (de Baccarat) et Amiend (de Follembray) déclarent ne pas croire à l'emphysème professionnel des verriers, et le mécanisme qui vient d'être donné du soufflage leur donne absolument raison. En revanche, ils sont sujets à l'affection, dite des joues cassées, c'est-à-dire à la dilatation sous forme d'ampoule du canal de Stenon et à l'épaississement de la muqueuse des joues, qui devient blanchâtre et se fendille.

Il est à espérer pour l'hygiène que le soufflage à la bouche a ses jours comptés et qu'il sera peu à peu remplacé par le soufflage mécanique. L'ouvrier lutte contre les tentatives de cette sorte, ce qui se comprend, parce qu'il en résultera sur son salaire une répercussion fatale lorsqu'il ne sera plus que l'aide, le manœuvre de la machine. La force de l'habitude, la

routine poussent le patron dans la même voie : en définitive, ils barrent la route au progrès.

Le premier et le seul appareil mécanique employé, jusqu'à ces années dernières, pour suppléer au soufflage à la bouche, était le piston Robinet, découvert, en 1821, par un ouvrier portant ce nom.

M. L. Appert a récemment créé une méthode générale d'application de l'air comprimé au travail du verre. Ce système comprend la production de l'air comprimé, son emmagasinement, sa distribution dans les ateliers et l'installation d'appareils, variant suivant la nature du travail, pour conduire l'air sous pression, à la canne du verrier qui conserve la liberté de ses mouvements.

L'air est comprimé par le moyen d'un cylindre fonctionnant dans une double enveloppe refroidie. Il est reçu dans des réservoirs en tôle d'acier, munis de soupapes de sûreté, qu'on peut isoler ou réunir en batterie, dans lesquels l'air est à 4 kilogrammes de pression. Ils servent d'accumulateurs, surtout pour le travail de nuit. Quand on veut produire des pièces de grande dimension, comme une boule, une bonbonne, l'air est pris directement sur la conduite. Pour de petits objets, l'air passe dans des cylindres détendeurs où la pression peut être réglée de 500 grammes à 1 kilogramme, suivant le genre de travail. Une canalisation spéciale, installée sous le plancher de la halle de travail, alimente les places ; elle est munie d'un détendeur automatique qui introduit l'air à une pression qu'on peut régler avec une grande précision.

Le verrier manœuvre au moyen de pédales placées sous la plate-forme de la place ; les robinets sont munis de tubes en caoutchouc à l'extrémité desquels est fixée la buse de soufflage dans laquelle l'ouverture de la canne s'introduit solidement et aisément. L'ouvrier peut la faire tourner avec rapidité sur elle-même, la tenir verticalement, le nez en haut ou en bas, lui communiquer le mouvement de pendule, la placer, en un mot, dans toutes les positions du travail ordinaire.

Ce système s'établit aussi bien sur la place de l'ouvrier à bouteilles et à vitre que sur le banc du souffleur de la gobeletterie. Seulement, il exige toujours un ouvrier cueilleur de verre et un verrier habile, comme dans le travail à la bouche.

Jusqu'à ce jour, les patrons et les ouvriers ont résisté dans les verreries à vitres et à bouteilles et ce procédé mécanique est adopté seulement dans la fabrication des pièces volumineuses, ainsi que dans la gobeletterie ; ajoutons : surtout à l'étranger.

Peut-être les verriers à bouteilles vont-ils être obligés de céder devant un nouveau procédé mécanique qui supprime l'emploi d'un ouvrier habile ! L'inventeur est M. Boucher, ancien ouvrier, maître-verrier à Cognac, où la fabrication de l'eau-de-vie a développé un centre de verrerie important.

On cueille dans le bassin, avec une poche, la quantité de verre nécessaire pour une bouteille et on la verse dans un moule ayant la forme de la bouteille à obtenir. Ce moule est porté par un appareil mobile qui permet de le balancer, de le tourner, de le retourner, en imitant le mouvement qu'on

exécute dans la fabrication à la main. De l'air comprimé aide à gonfler la bouteille au moment voulu.

Ce procédé paraît devoir être pratique, mais, de l'avis des spécialistes, il ne pourra pas servir à faire des bouteilles de premier choix, pour les vins de Champagne, par exemple. En supposant qu'il ne s'applique qu'à la bouteille commune, ce serait, hygiéniquement parlant, un résultat considérable, parce que le soufflage à la bouche des bouteilles est un travail très pénible, en raison surtout de l'abaissement des prix qui oblige l'ouvrier à une fabrication intensive.

Parmi les progrès à réaliser au point de vue de l'hygiène il en est un qui n'exige que de la bonne volonté : c'est le mélange des matières premières dans des conditions salubres. Souvent encore on l'effectue à la pelle, ce qui donne un mélange imparfait et de mauvais travail.

En outre, et malgré le mouillage, les ouvriers respirent des poussières qui sont toujours très préjudiciables à la santé, même lorsque la composition ne renferme pas de produits toxiques proprement dits. Que dire de ce mode de faire lorsque le mélange renferme des oxydes métalliques, de la litharge, du minium, comme dans la fabrication du cristal! On devrait exiger le mélange mécanique de la composition destinée à la fabrication du verre et veiller sévèrement aux conditions dans lesquelles s'exécutent le broyage et la pulvérisation des débris de verre et surtout de cristal.

M. Bourgoin et moi avons prescrit, dans des rapports au Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine, la condition suivante :

Dans le cas où la composition renferme des oxydes de plomb ou d'autres substances toxiques, on aura toujours soin d'humecter la matière, et on ne fera jamais le travail à l'air libre. On opérera dans un tambour fermé ou dans un appareil analogue ; il en existe qui portent à l'intérieur des cloisons, disposées en chicane, pour activer le mélange.

M. Henrivaux recommande des pétrins dans lesquels les matières sont brassées à l'aide de deux palettes courbes en acier, se mouvant en sens inverse et avec des vitesses différentes.

Dans la présente édition de son ouvrage, il indique divers autres appareils de broyage plus perfectionnés encore.

Il est, enfin, des industries, annexes à la fabrication du verre, dans lesquelles l'hygiène joue un rôle important, souvent méconnu. Au premier rang sont le polissage à sec du verre, du cristal; la fabrication, l'application et le grattage des émaux. Ces travaux et le séjour des enfants, des filles mineures et des femmes dans les ateliers, où se dégagent librement des poussières et où il est fait usage de matières toxiques, sont interdits, à juste titre, par le décret du 3 mars 1893.

Le décret du 10 mars 1894 (art. 6) revient sur les conditions de salubrité qu'il y a nécessité de prescrire dans les ateliers où se dégagent des poussières ainsi que des gaz incommodes, insalubres et toxiques.

Pour les buées, vapeurs, gaz et poussières légères, il sera installé des hottes avec cheminées d'appel ou tout autre appareil d'élimination efficace.

Pour les poussières déterminées par les meules, les broyeurs et tous les

autres appareils mécaniques, il sera installé, autour des appareils, des tambours mis en rapport avec un système de ventilation aspirante, énergique. Pour les gaz lourds, la ventilation aura lieu *per descensum*; les tables et les appareils de travail seront mis en communication directe avec le ventilateur. Ce dernier procédé me paraît applicable aux ateliers de taille et de polissage du verre et du cristal et préférable à l'aspiration *per ascensum*.

Dans le cas spécial où le verre contient des oxydes métalliques, de plomb surtout, et dans celui où l'on se sert de potée d'étain, la taille et le polissage doivent être effectués en présence de l'eau, toutes les fois que c'est possible et la ventilation doit être à son maximum.

Le travail avec la potée d'étain — stannate de plomb — a donné fréquemment naissance à des accidents saturnins. Il a été publié, en 1892, aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, un travail de M. Guéroult, dans lequel il annonce qu'à Baccarat on substitue, depuis 1891, à l'ancienne potée un mélange de

1 partie de potée,

et 2 parties d'acide métastannique.

L'ancienne potée contenait 61 p. 100 de plomb et la nouvelle seulement 20 p. 100.

Ce produit donnerait des résultats aussi bons que la potée seule, et, depuis ce jour, il n'aurait été constaté aucun cas d'intoxication plombique chez les tailleurs de verre.

On comprend très bien que le mal ait été atténué avec la diminution de la proportion de plomb, mais il est difficile de croire qu'il ait entièrement cessé. Il n'y avait guère qu'une année que la substitution avait lieu au moment de la publication de ce travail et il serait intéressant de savoir ce qu'il en est advenu depuis la fin de l'année 1892.

L'article 6 du décret se termine par la phrase suivante : « L'air des ateliers sera renouvelé de façon à rester dans l'état de pureté nécessaire à la santé des ouvriers. »

L'intoxication mercurielle dans l'industrie annexe des miroitiers et des étameurs de glaces, très fréquente autrefois, a pour ainsi dire disparu depuis l'abandon de l'étamage au mercure et son remplacement par l'argenture des glaces à froid au moyen de l'action réductrice de l'acide tartrique sur le nitrate d'argent en dissolution dans l'eau ammoniacale.

L'émail est formé par diverses substances, l'acide métastannique, le phosphate de chaux, l'antimoniate d'oxyde d'antimoine, l'acide arsénieux, l'alumine, les chlorures de zinc, de plomb, auxquels peuvent se joindre des oxydes colorants; beaucoup d'émaux sont additionnés de minium, dans d'autres intervient de la calcine qui est obtenue en calcinant à l'air un alliage contenant 15 d'étain et 100 de plomb.

On comprend que le travail de certains de ces émaux ne soit pas sans danger. Le Conseil d'hygiène et de salubrité de la Seine a indiqué, sur des rapports de M. de Luynes et de M. Troost, les prescriptions suivantes à imposer aux industriels, pour garantir de toute incommodité les ouvriers et les voisins :

Faire application de l'émail sous l'eau et éviter le maniement de poussière sèche d'émail.

Éloigner les fours des cloisons et des murs mitoyens.

Munir chaque four d'un tuyau de fumée spécial.

Élever les cheminées à 3 mètres au moins au-dessus des cheminées des maisons voisines dans un rayon de 100 mètres.

Dans la verrerie de MM. Chance, à Birmingham, et dans l'usine du Bourget. suivant M. Bunel, architectecte en chef de la Préfecture de police, on broie les émaux en vase clos ou sous l'eau et l'on applique la poussière d'émail sous l'eau ou sous des hottes vitrées, au moyen de tamis couverts.

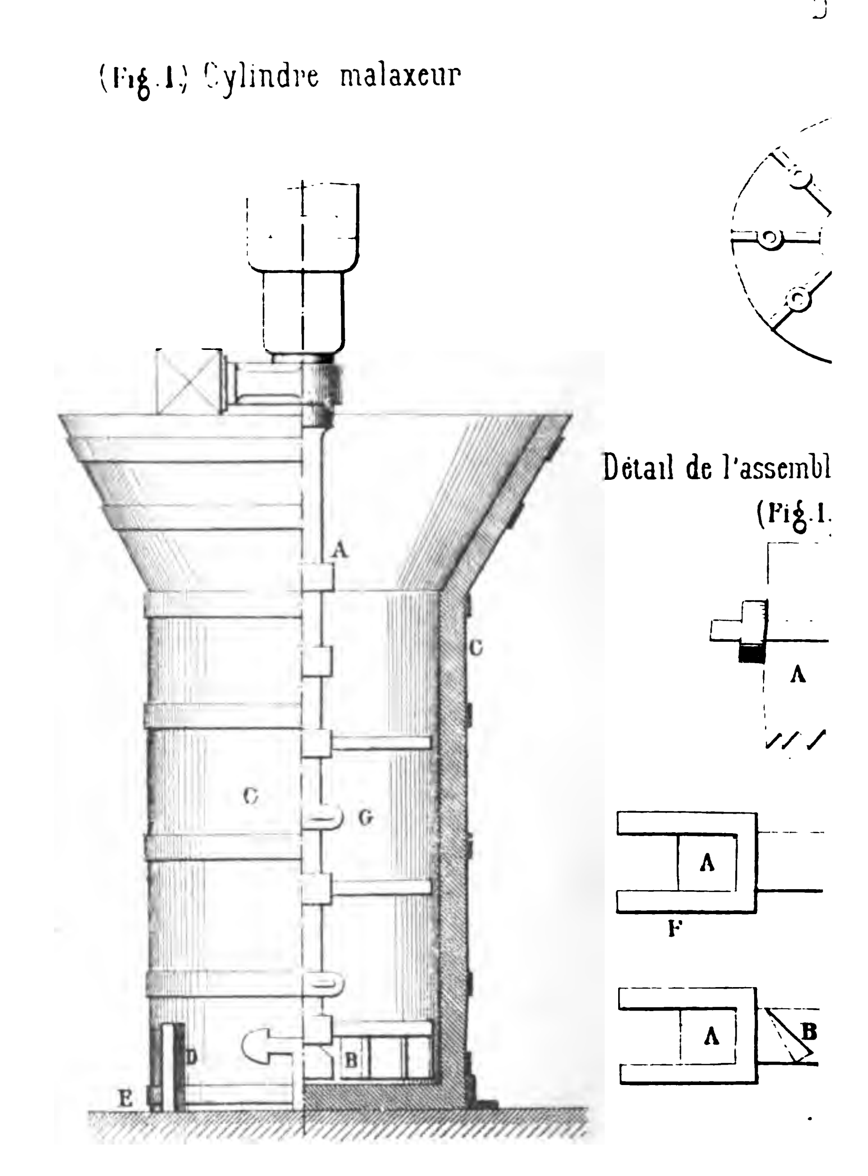
Rappelons, en terminant, que les verreries, les cristalleries, les fabriques d'émaux, les ateliers d'application de l'émail sur les métaux, d'argenture du verre, sont rangés dans la deuxième ou la troisième classe des établissements insalubres, dangereux ou incommodes, et régis par les prescriptions générales du décret du 15 octobre 1810, de l'ordonnance royale du 14 janvier 1815 et de l'ordonnance de police du 30 novembre 1837.

TABLE DES MATIERES

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

IMPRIMERIE E. FLAMMARION, 26 RUE RACINE, PARIS

Fig: 1.



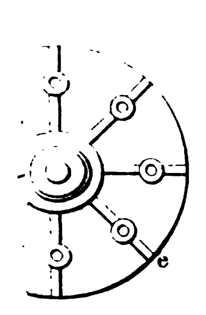
A *Arbre vertical portant les couteaux*
B *Couteau inférieur destiné à racler le fond de la tinne.*
C *Enveloppe en forte tôle de fer, divisée en deux parties semi-sphériques et rassemblées l'une sur l'autre à l'aide de joints croisés et boulonnés*

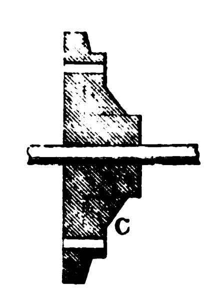
D *Petite porte de sortie de la pâte*
F *Fourchette d'assemblage des porte-couteaux sur l'axe.*
G *Lames d'acier coupantes pour diviser la pâte.*
I *Clavette d'assemblage des porte couteaux sur l'axe.*

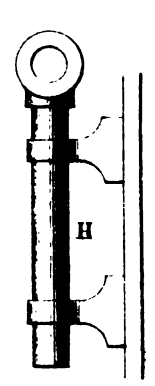
Fig. 2.

Détail du support de l'axe horizontal. (Fig. 2.)

:tail de l'armature C.

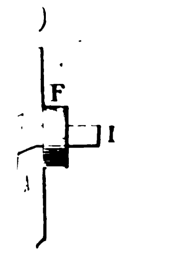


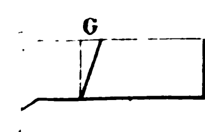


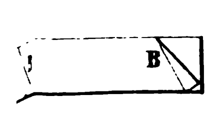


age des bras.

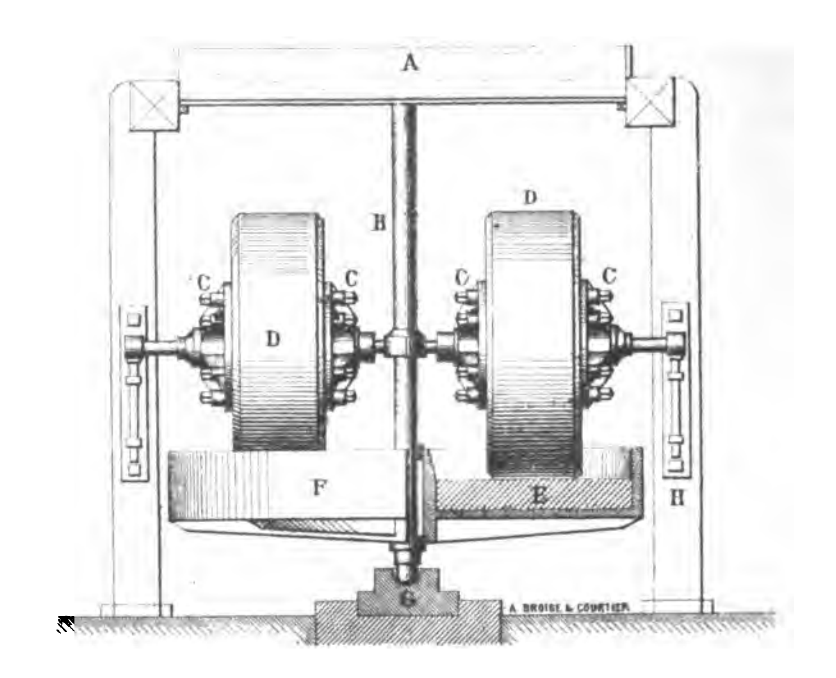
)







Appareil de broyage pour matières dures.

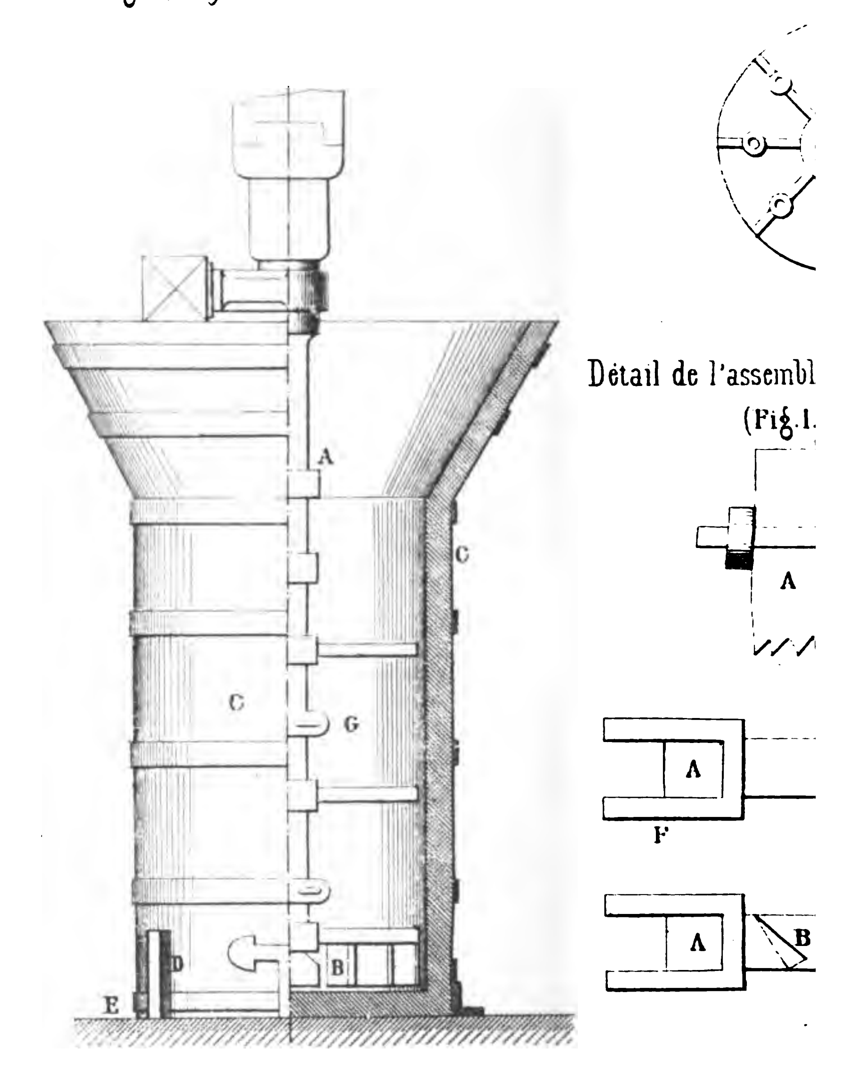


A	*Roue motrice*	F	*Enveloppe de la meule* E
B	*Arbre vertical*	G	*Crapaudine*
D	*Meule verticale en fonte*	H	*Support mobile de l'arbre des meules*
D'	______ *id* ______ *grès*	C	*Plaques de fonte maintenant les meules.*
E	*Meule horizontale en grès*		

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

IMPRIMERIE E. FLAMMARION, 26 RUE RACINE, PARIS

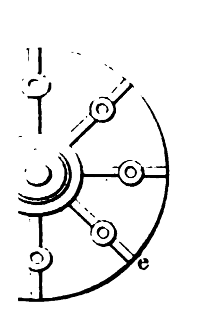
Fig: 1.

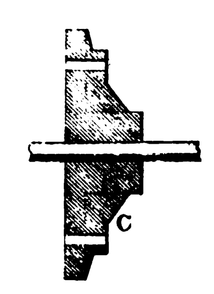


A *Arbre vertical portant les couteaux*
B *Couteau inférieur destiné à racler le fond de la tinne.*
C *Enveloppe en forte tôle de fer, divisée en deux parties semi-sphériques et rassemblées l'une sur l'autre à l'aide de joints croisés et boulonnés*
D *Petite porte de sortie de la pâte*
F *Fourchette d'assemblage des porte-couteaux sur l'axe .*
G *Lames d'acier coupantes pour diviser la pâte.*
I *Clavette d'assemblage des porte-couteaux sur l'axe.*

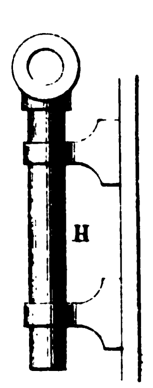
Fig. 2.

…tail de l'armature C.

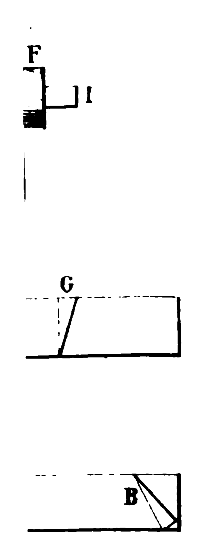




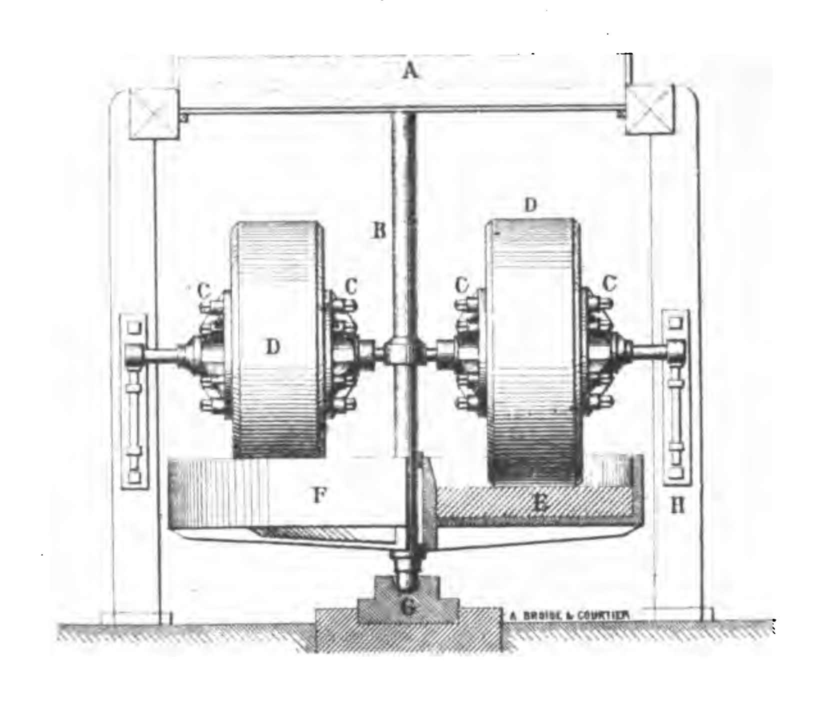
Détail du support de l'axe horizontal. (Fig. 2.)



…ge des bras.



Appareil de broyage pour matières dures.

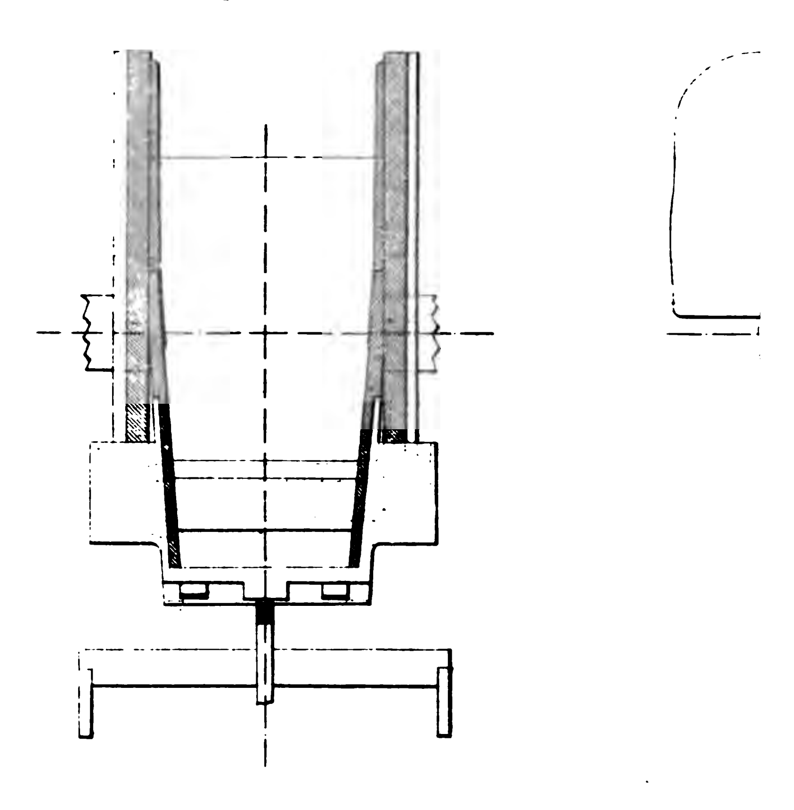


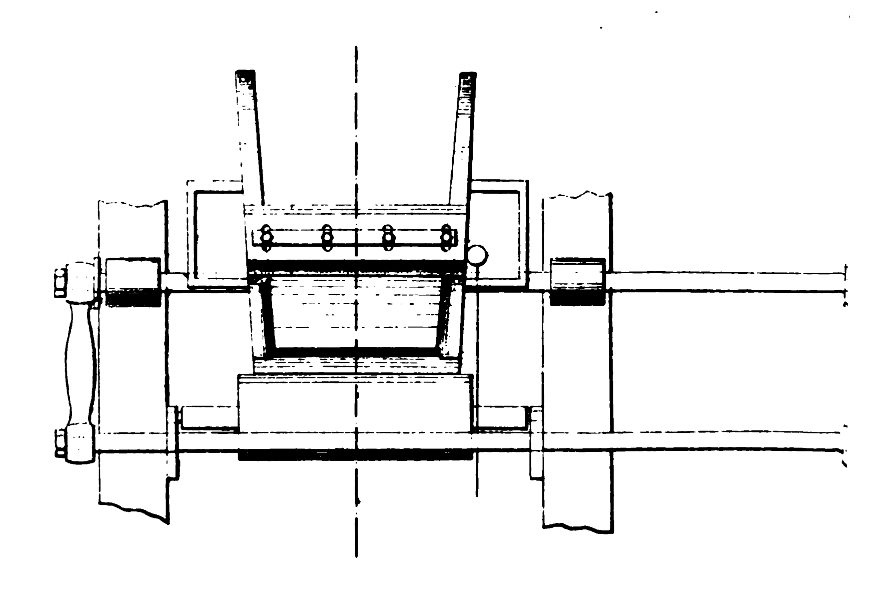
A *Roue motrice*	**F** *Enveloppe de la meule* **E**
B *Arbre vertical*	**G** *Crapaudine*
D *Meule verticale en fonte*	**H** *Support mobile de l'arbre des meules*
D' ——— *id* ——— *grès*	**C** *Plaques de fonte maintenant les meules.*
E *Meule horizontale en grès*	

MACHINE A

1

Coupe latérale

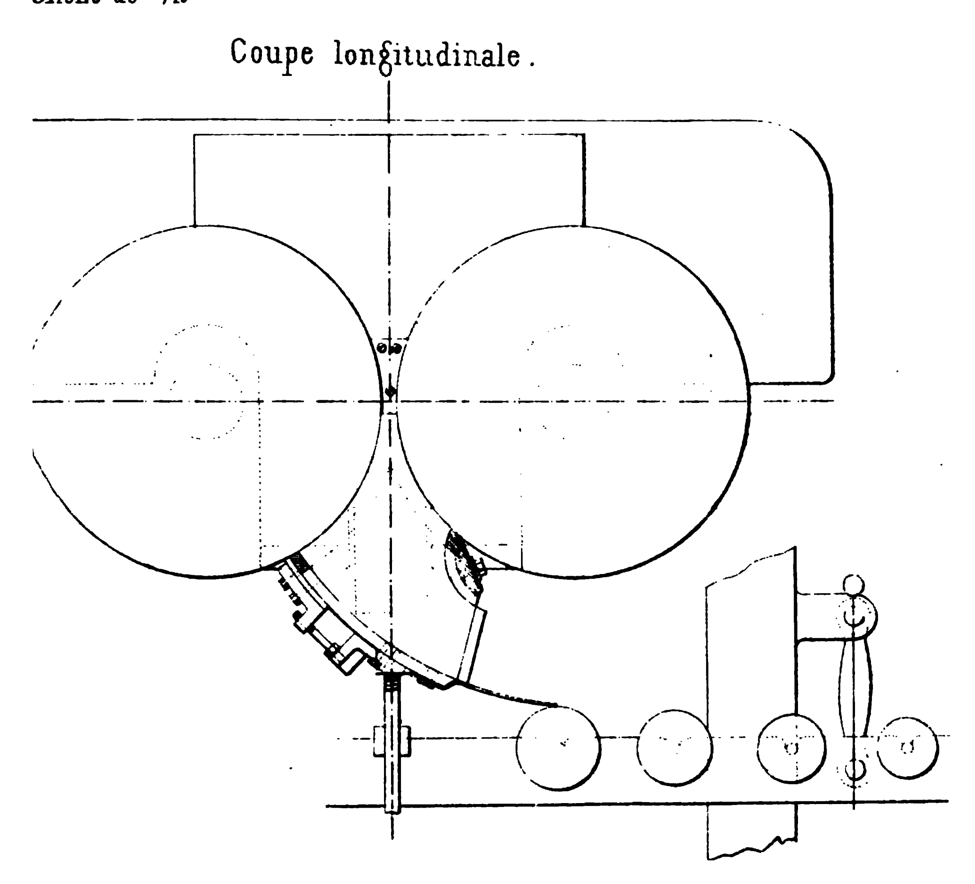




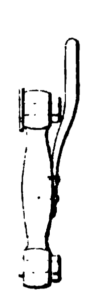
LAMINER LA TERRE

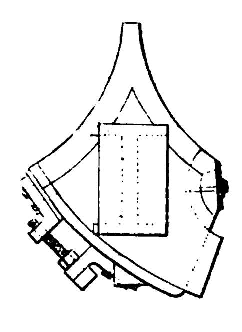
chelle de 1/10

Coupe longitudinale.

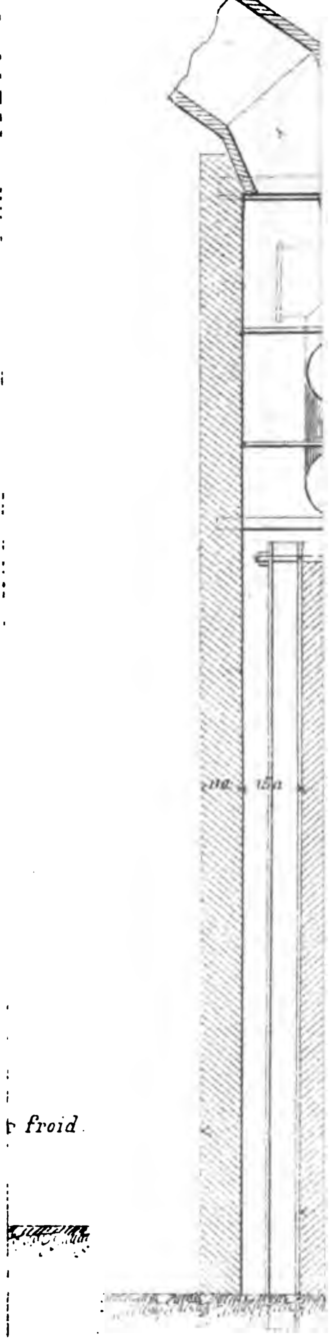


Filière.





s par 24 heures



froid

5 pour mètre

ÉES. — TYPE N° 3.

LÉGENDE

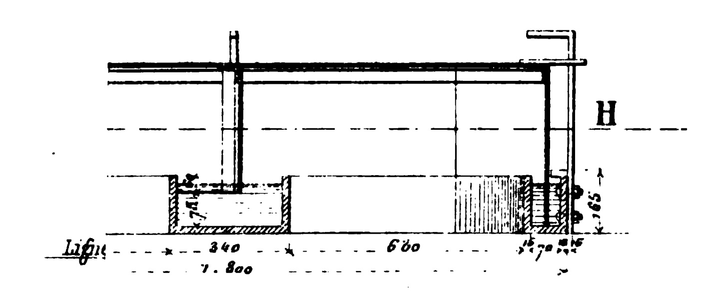
A Étage de chargement en dalles perforées.
B Étage intermédiaire en dalles perforées.
C Étage en dalles pleines.
D Cendrier.
E Étage de couverture en dalles pleines.
F Plaque à lunette réfractaire.
G Autel réfractaire.
H Sommiers réfractaires supportant les dalles.
I Parois réfractaires du foyer.
J Garniture en matière isolante.
K Devanture en fonte.
L Portes de chargement et de service.
M Portes-écran en tôle pour éviter le rayonnement.
N Tampons de ramonage.
O Parois en tôle maintenues par des fers à ⊥, formant l'armature du foyer.
P Surface de chauffe à ailettes creuses.
Q Cheminee.
R Registre à cadran pour régler la marche du foyer
S Diaphragme pour obliger l'air à passer dans les ailettes.
T Conduits de chaleur.
U Registre pour régler la vitesse de l air chaud.
V Espace vide pour le passage de l'air.
X Murs d'enveloppe formant chambre de chaleur
Y Prise d'air.

Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris

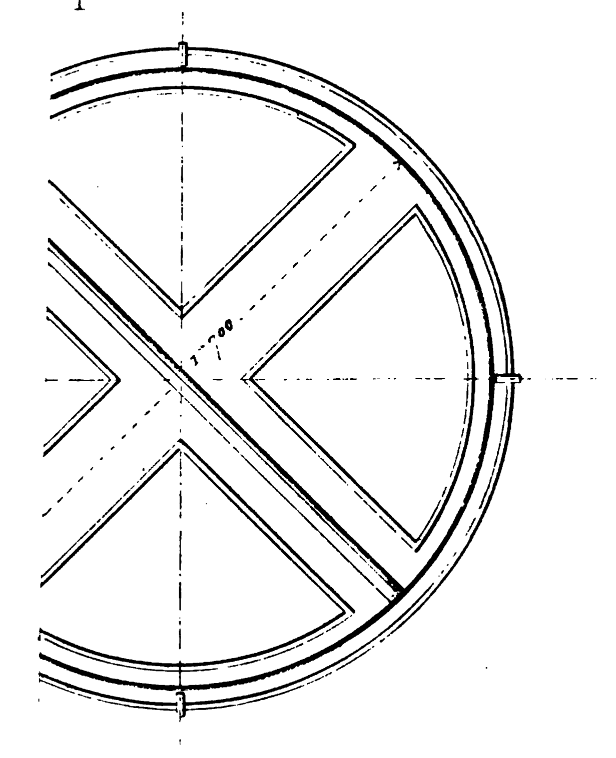
. LA VALVE A GAZ

:lle de 1/20

Coupe.

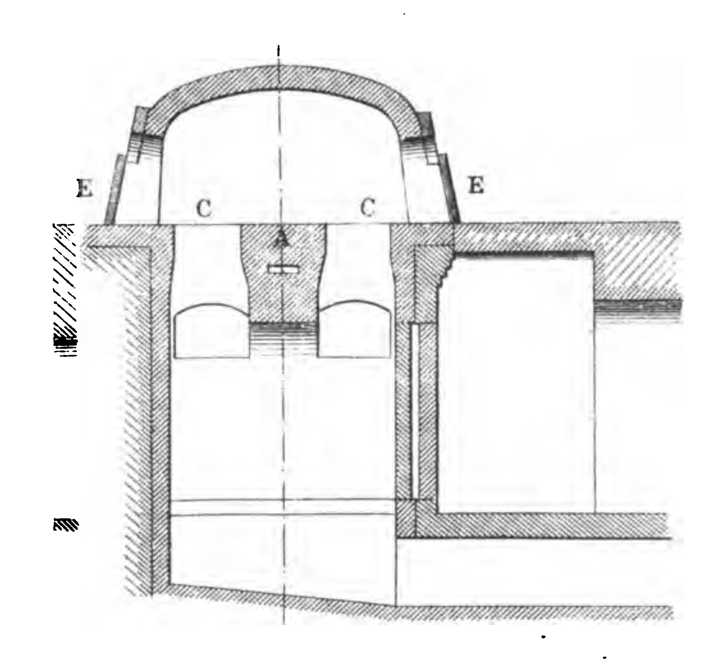


'upe suivant **GH** .

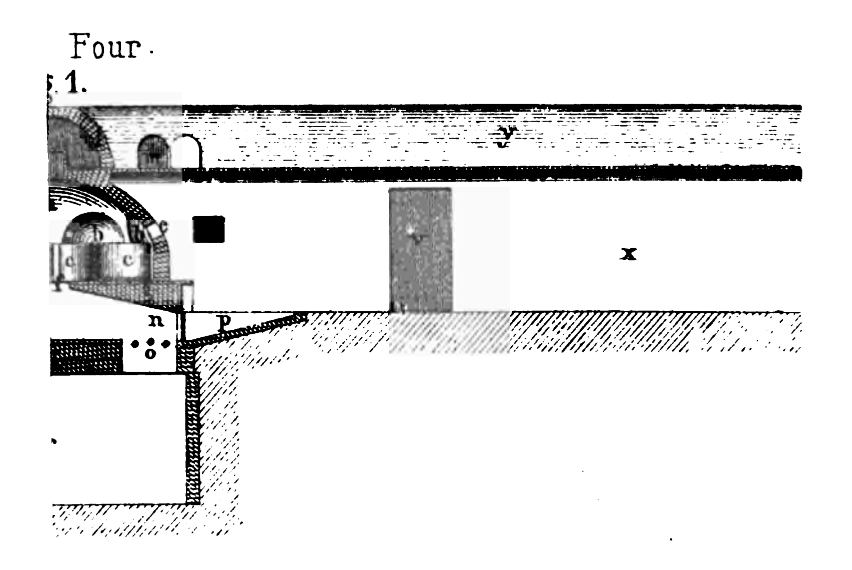


Imp Monrocq Paris.

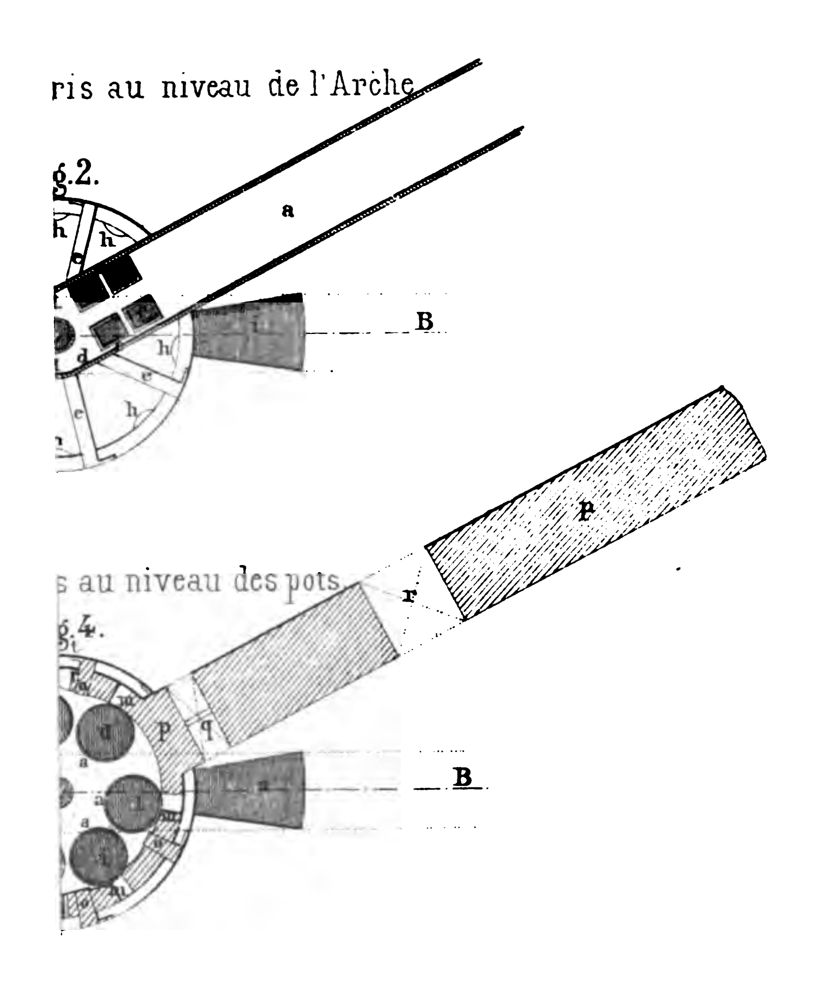
Coupe transversale.



Four.

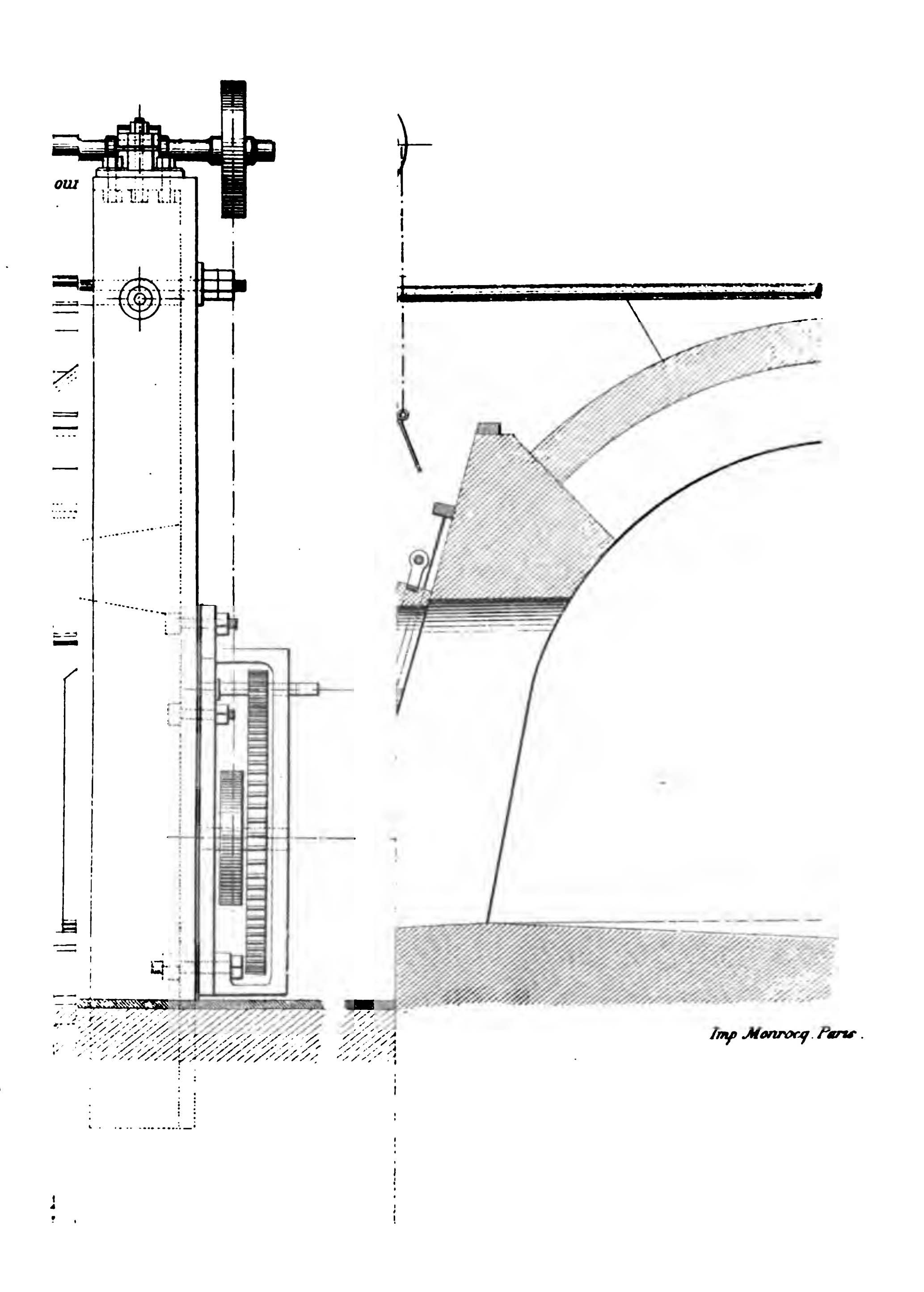


ris au niveau de l'Arche



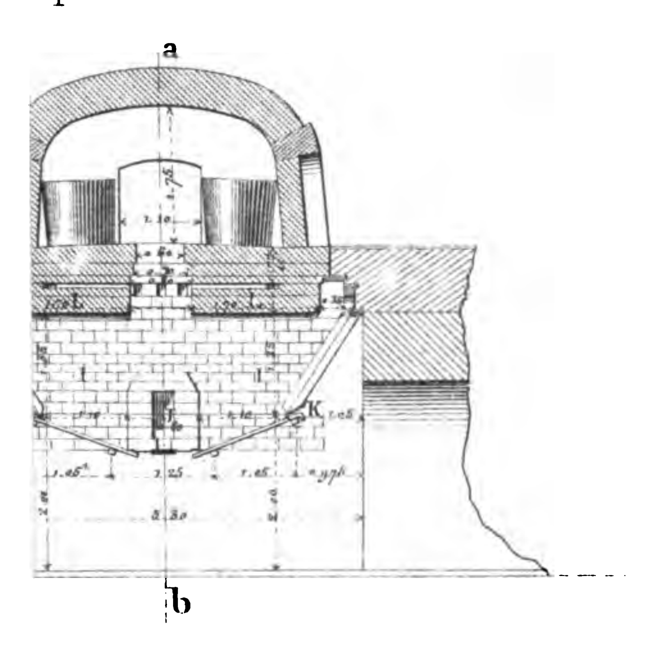
Pl. X.

Coupe d'une arcade.

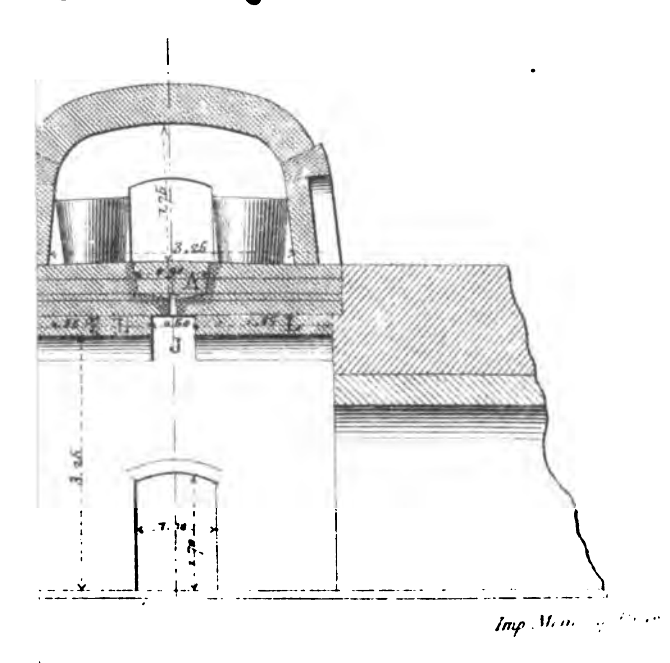


Imp Monrocq. Paris.

upe suivant **cd** .



upe suivant **gh** .



Imp. M...

SYSTÈME LENCAUCHEZ

Pl. XII.

6 Tonnes de houi[
.es de coke.

1/50

le

nérale

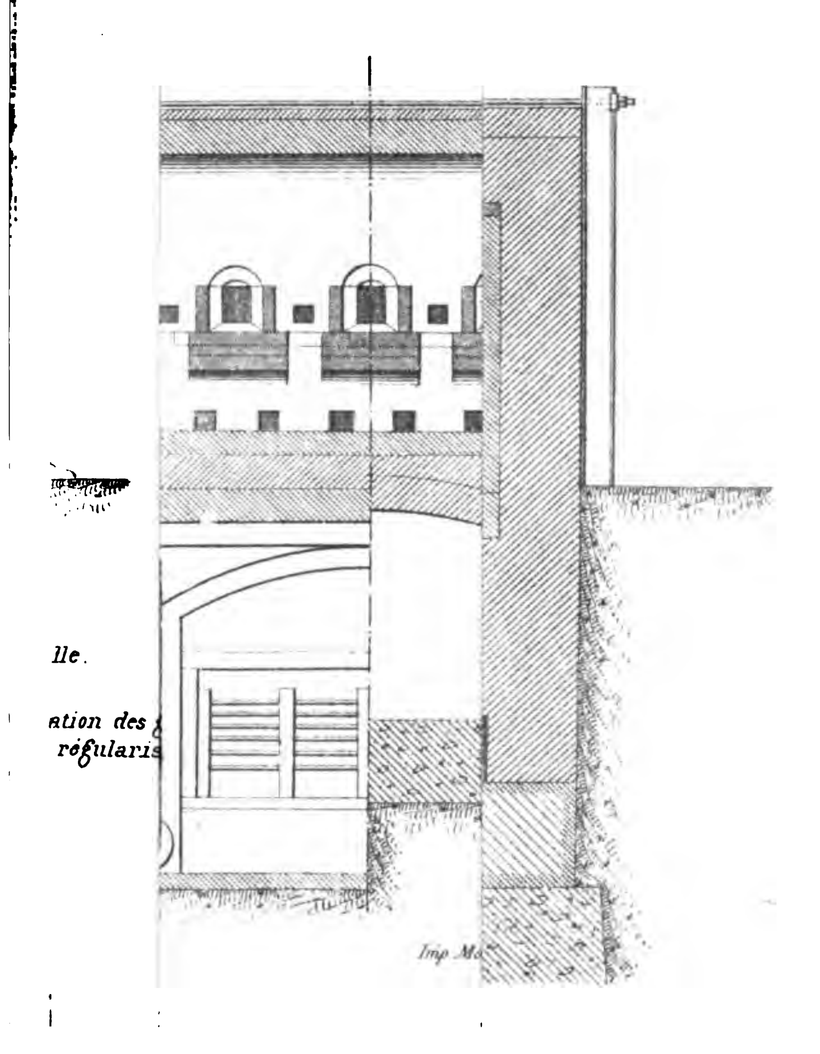
lir ou

Tent.

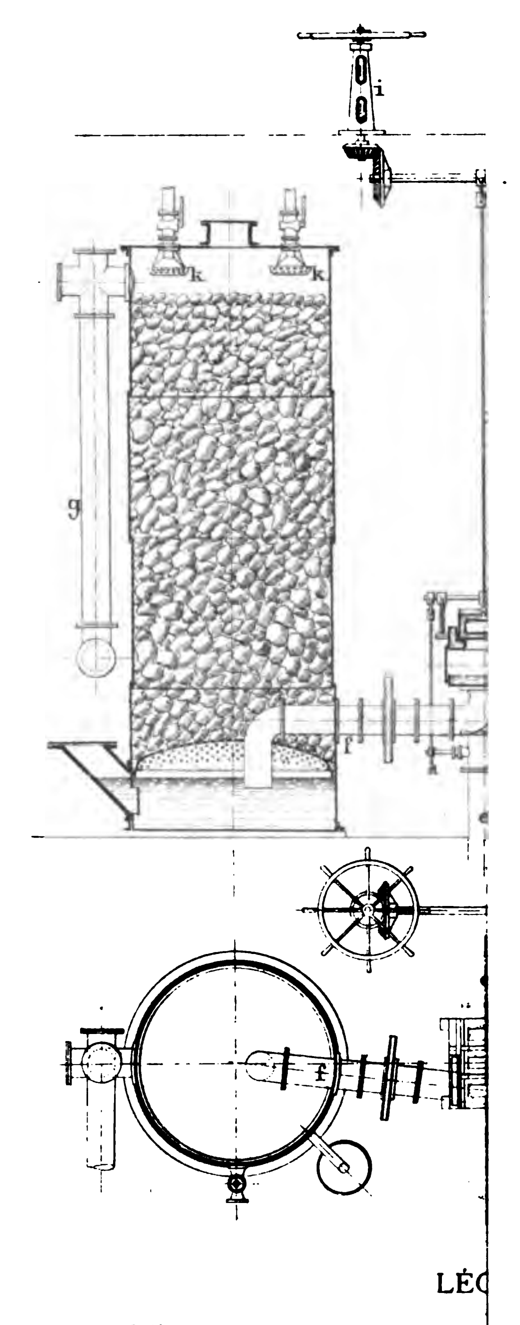
Gaz.

Eau.

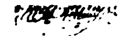
upe transversale c d. b .
coupe extérieure de la



GAZOGÈNE FONCTIONNANT AUX
et produisant alternativement



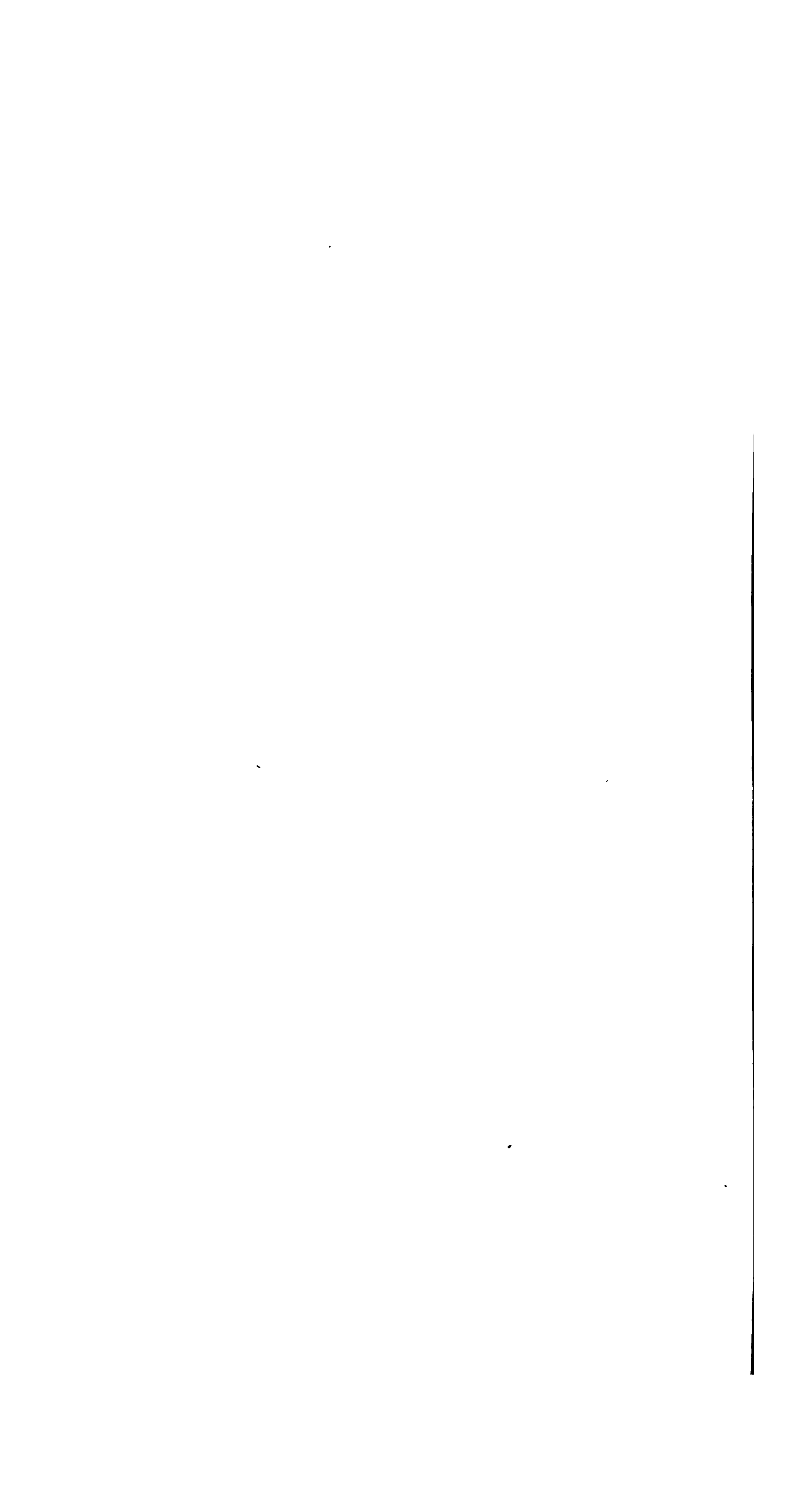
itre.



es que l'on
e D qui
prises par
s bras
s par moue
ntroduites
de la
he de
eur étant
endant
glissière Y.

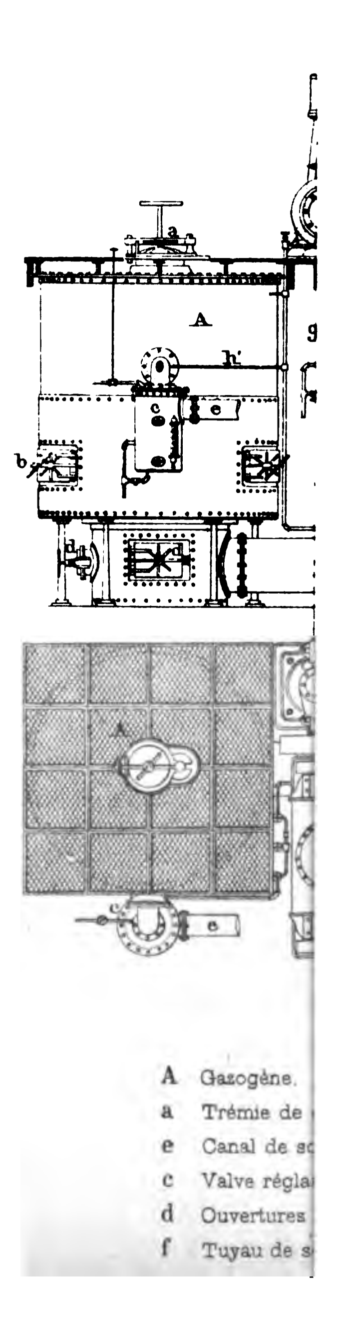
LÉ

a Réfrigérant pour le gaz d'eau.
b Valve réglant la sortie du gaz d'air.
c Trémie de chargement.
d Valve pour la soufflerie de vapeur.
e Conduite d'air

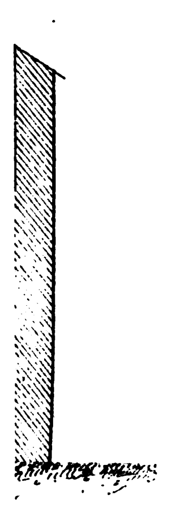


GENÈRATE ... **IR**

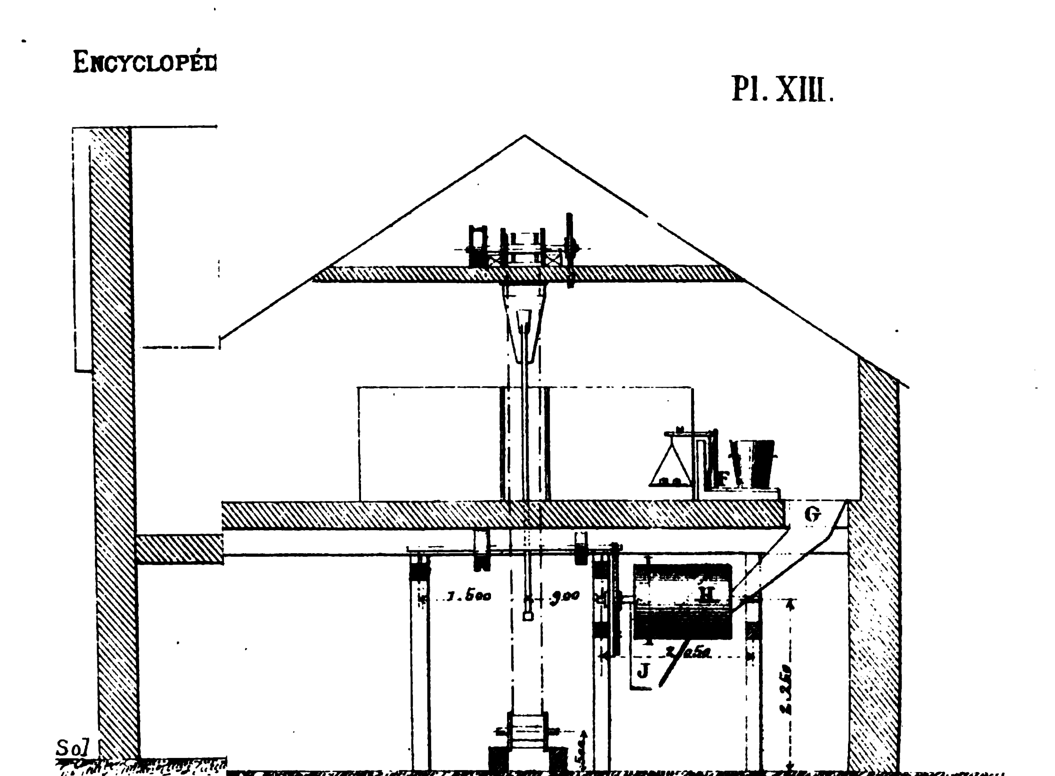
S ... **à vitre.**



A Gazogène.
a Trémie de
e Canal de s
c Valve régla
d Ouvertures
f Tuyau de s



oyées que l'on
iobile **D** *qui*
reprises par
petits b... ...
tours par minute,
es introduites
sens de la
arche de
anfour étant
e. Pendant
la glissière Y.



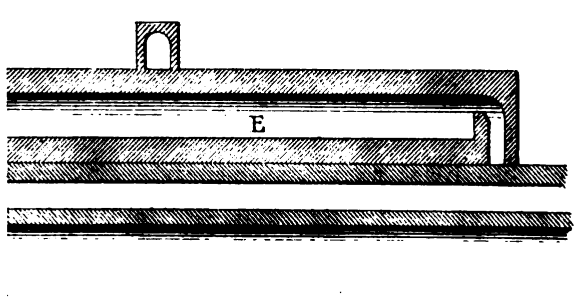
PPAREIL ELÉVATEUR CLASSEUR MÉLANGEUR

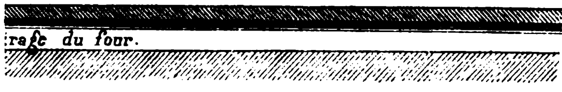
atières servant à la composition du verre à vitre.

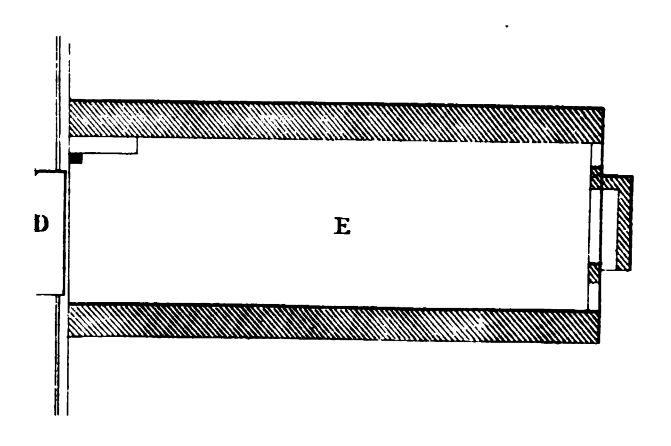
DESCRIPTION .

e compose d'une chaîne à godets A , servant à élever les matières broyées que l'on
émies B et C Ces matières ainsi élevées tombent dans une trémie mobile D qui
des loges en bois E , E', E'', E''', E'''', servant de magasin ; elles sont ensuite reprises par
petits bacs et pesées à la bascule F . Après cette opération , on vide les petits bacs dans
matières glissent dans le mélangeur H . Ce mélangeur qui ne fait que 5 tours par minute
cylindre qui , à l'intérieur renferme une hélice conduisant les matières introduites
son extrémité du côté des portes I . Ces portes I sont mobiles dans le sens de la
mélangeur ; elles s'ouvrent et se ferment sans interrompre la marche de
s ouvre pour faire tomber le mélange dans une trémie J . Le mélangeur étant
ide , on ferme les portes I pour recommencer un nouveau mélange Pendant
nge , les matières contenues dans la trémie J , tombent en ouvrant la glissière K
nneaux L qui enfin sont transportés dans l'usine.

.GE DES GLACES .



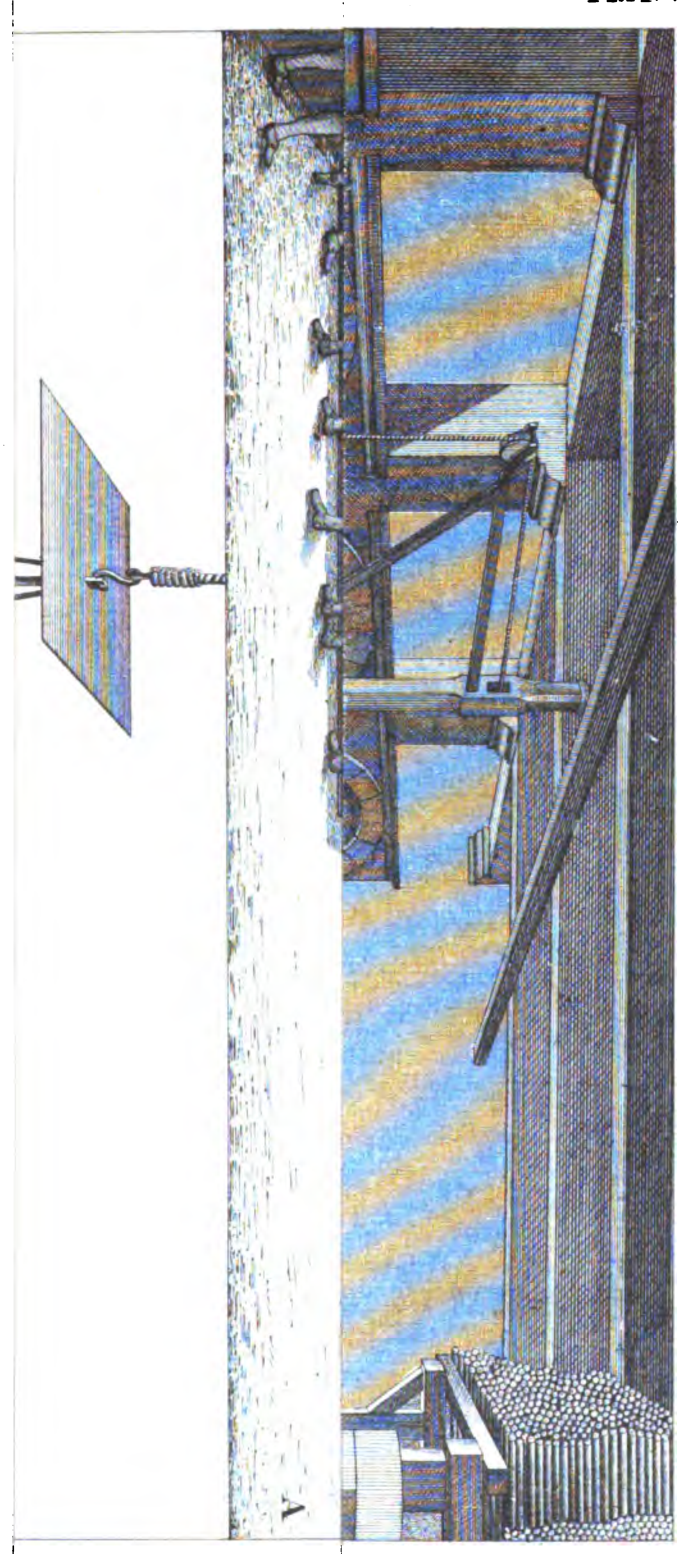


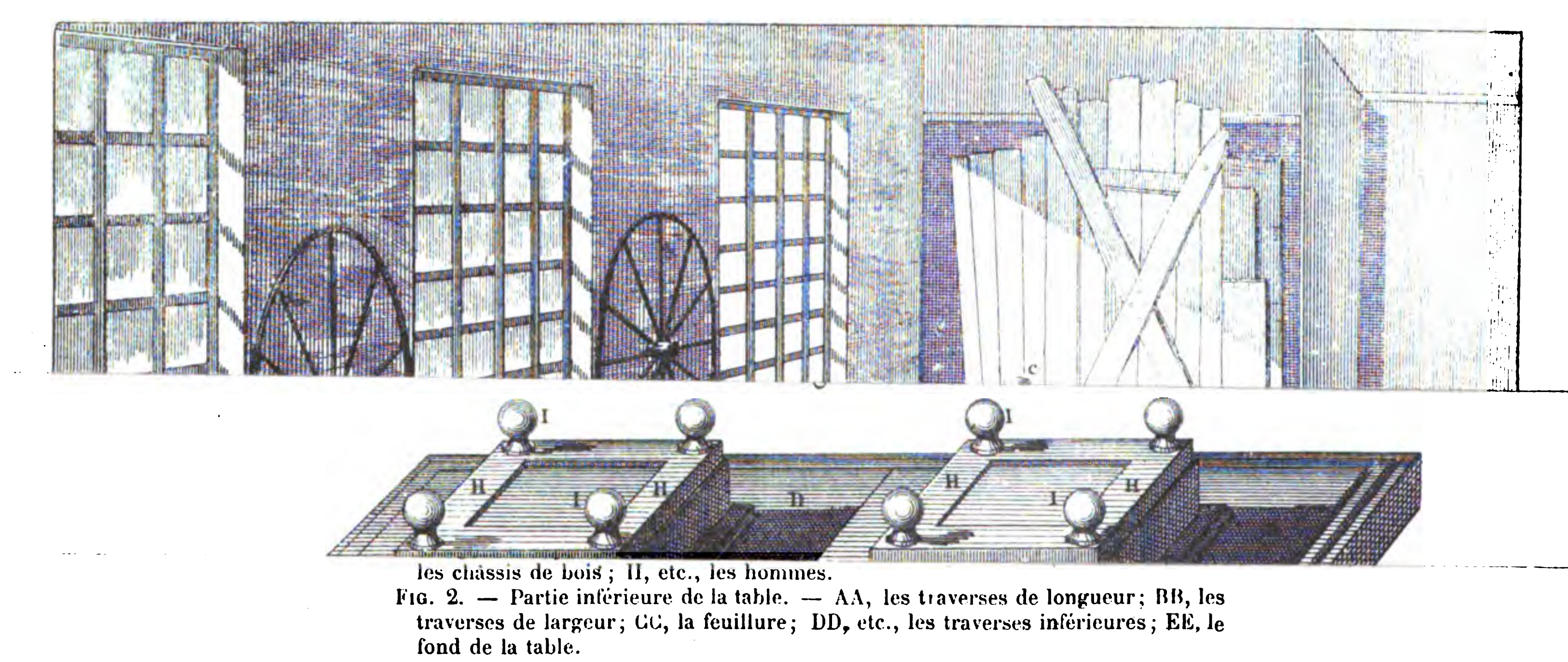


nt le chariot à rouleau pour le poussage de la glace
'ecuire E
'u carcaise .
'sir le creuset et le suspendre au-dessus de la table
uation pour le chauffage du four à recuire E .

Imp Monrocq. Paris .

Pl.XV.





les châssis de bois ; II, etc., les hommes.

Fig. 2. — Partie inférieure de la table. — AA, les traverses de longueur ; BB, les traverses de largeur ; CC, la feuillure ; DD, etc., les traverses inférieures ; EE, le fond de la table.

Imp Monrocq. Paris.

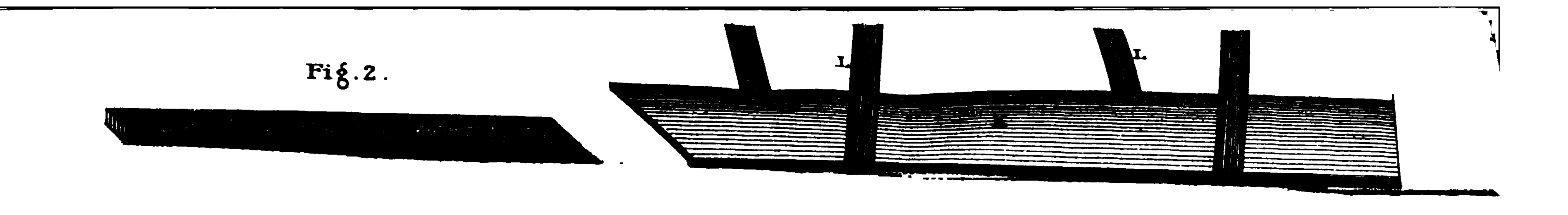
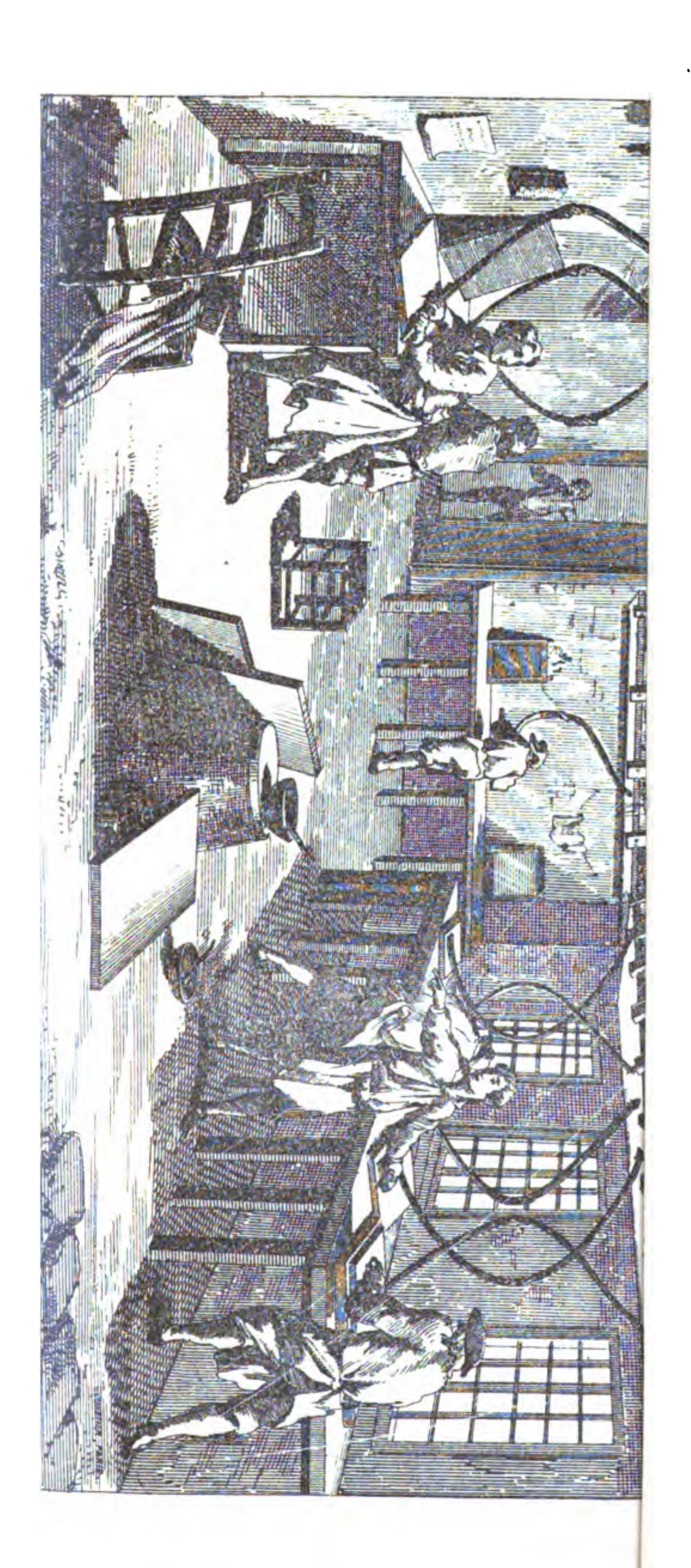
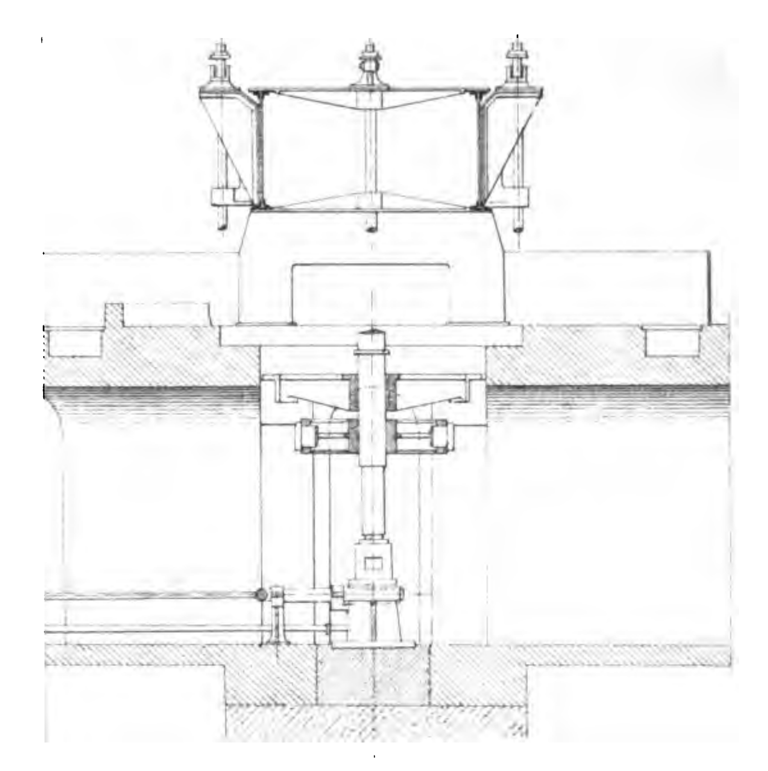
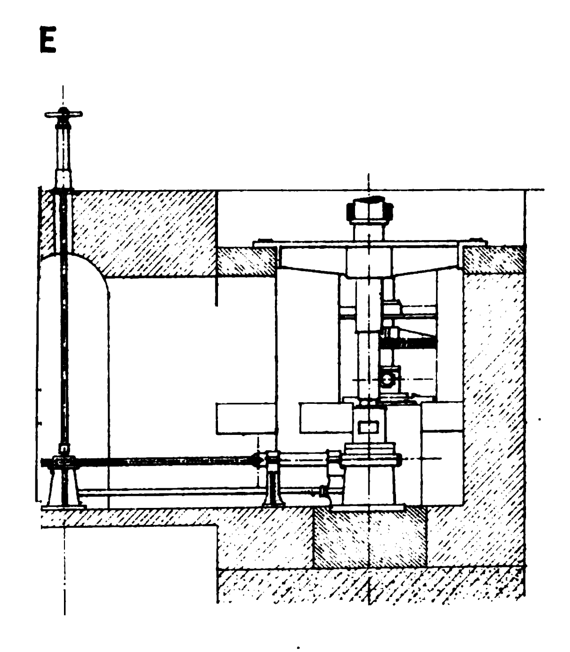


Fig. 2.



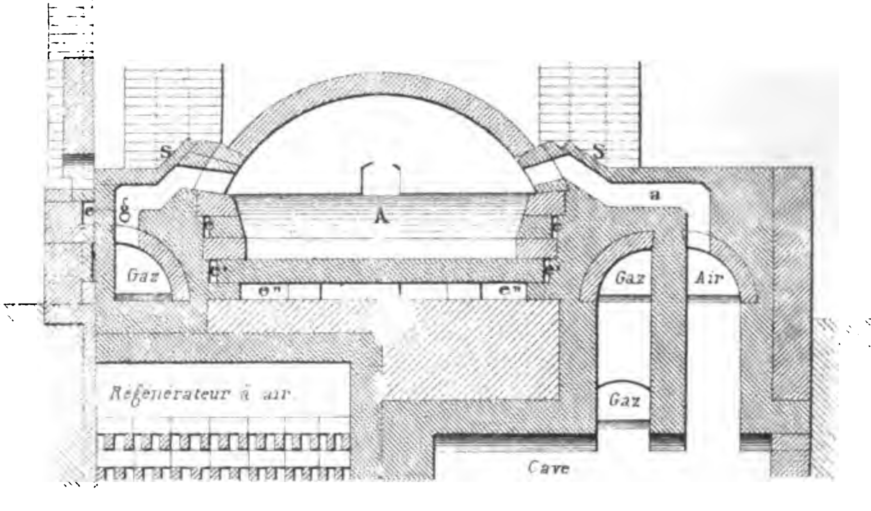


E

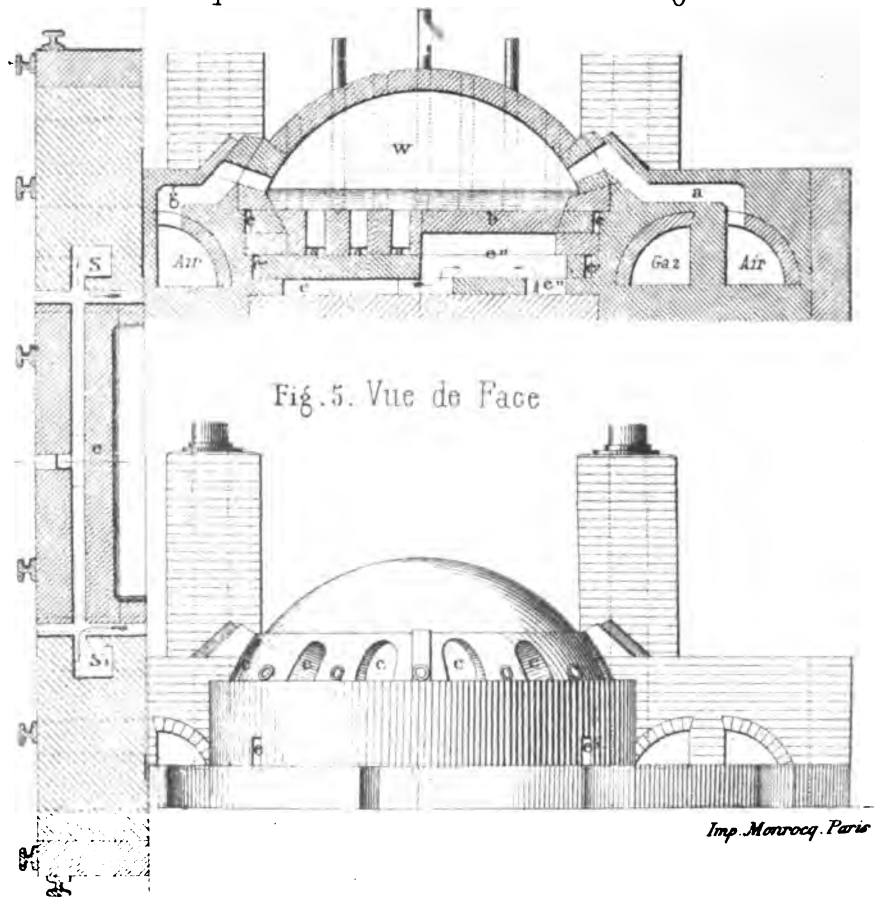


EMENS A DRESDE.

. Coupe transversale au travers du bassin A.



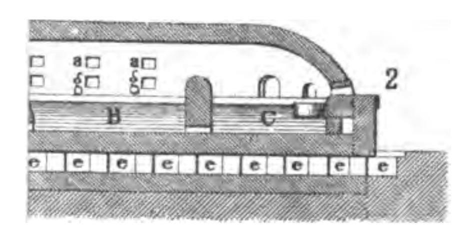
. Coupe transversale du bassin d'affinage B.



Imp. Monrocq. Paris

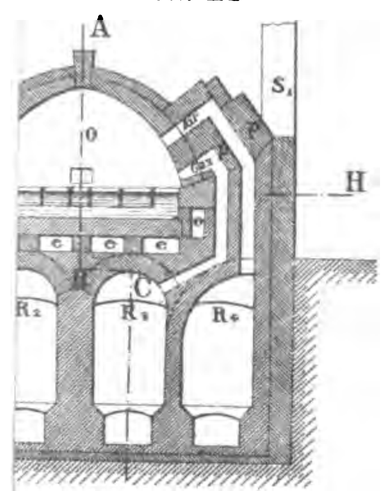
)U FOUR SIÉMENS A CUVE.

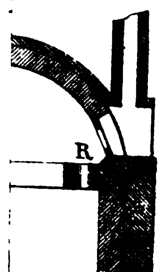
ıvertures d'entrée de gaz et d'air,
au-dessus du gaz.



erre allant de l'ouvreau
à l'ouvreau de cueillage 2.

térale suivant EF.



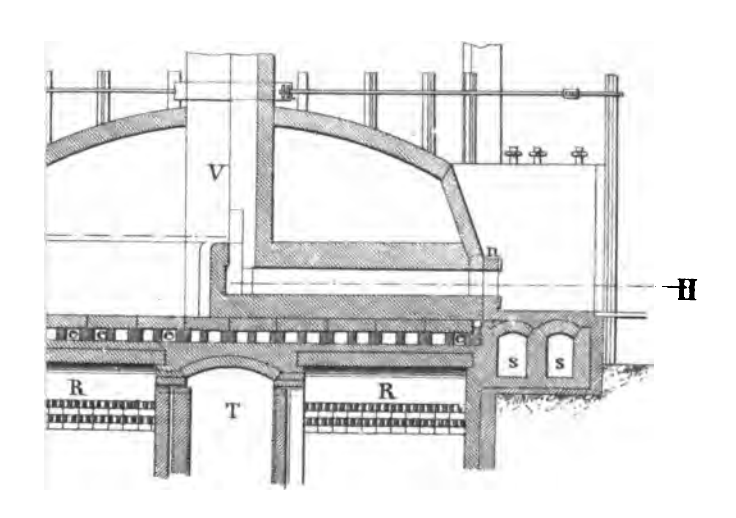


Coupe à travers un
trou de travail.

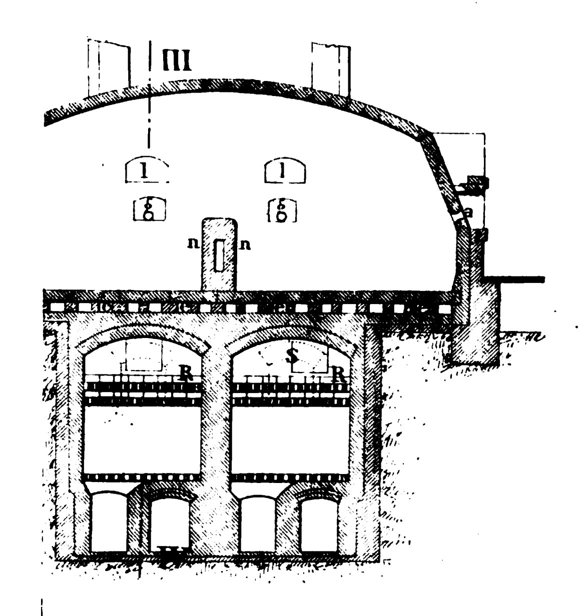
UVREAUX

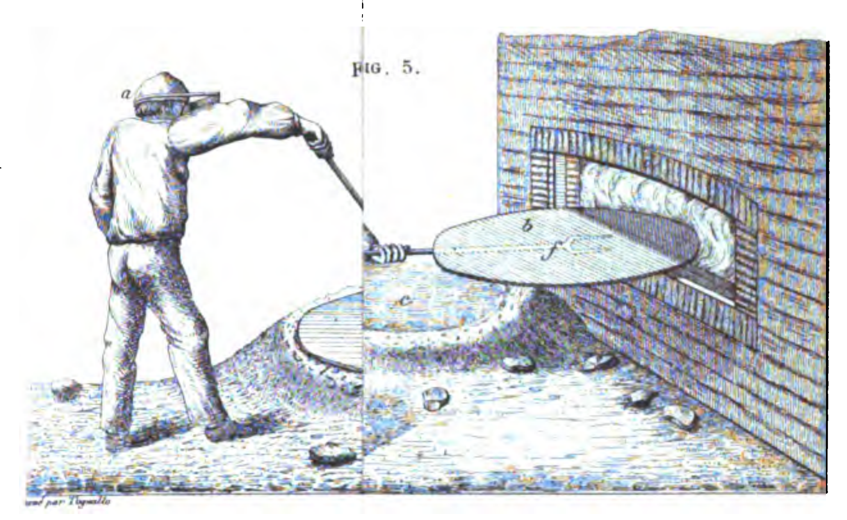
ileurs différentes.

Coupe III, IV.



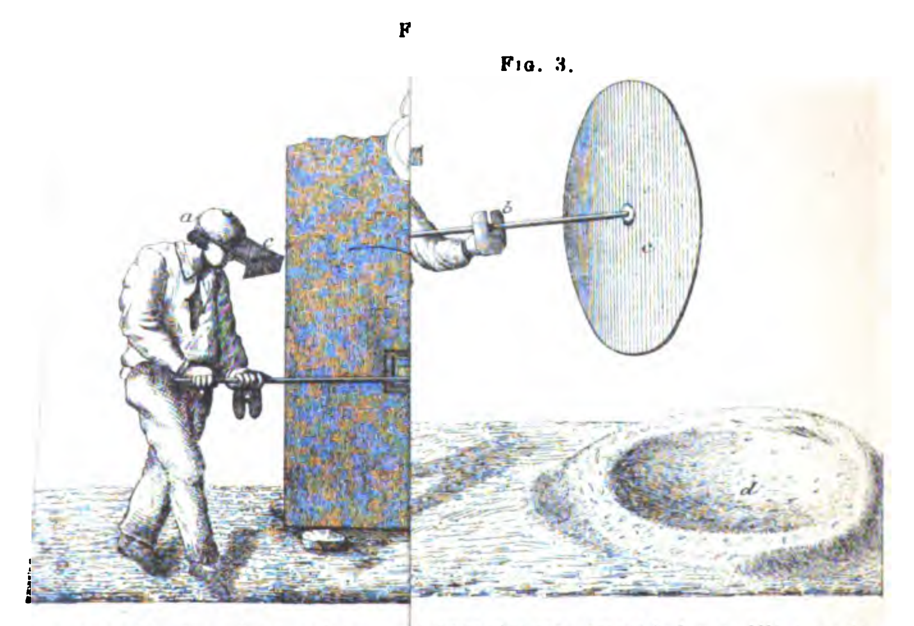
Coupe V, VI.





a, ouvrier verrier occupé à poser lettre avec la fourchette dans le four à recuire l'on nomme peloter ; b, plat du pris sur la pelote ; b, plat du verre posé sur pour être mis ensuite dans le four être mis dans le four à recuire ; c, pelote sur composé de cendres et petites braises prendre le plat ; d. entrée du four ; e, pile de cuisent dans le four ; f, fourchette pour mettre dans le four.

F



a, ouvrier occupé à ouvrir, au g tourner vigoureusement la bosse déjà ouverte former le plat. Cette opération re et en faire un plat ou table de verre, ensuite le pontis avec la bosse ; b, bosse otte, ce que l'on nomme porter à la pelotte ; c, jone pour garantir les ouvrier ine dont se sert le verrier pour tourner le plat ; ture du grand ouvreau. et à être mis sur la pelotte ; d, pelotte ou tas r du diamètre du plat pour recevoir le plat fini. de cendres et petites braises mêlées.

Imp Monrocq. Paris.

Légende.

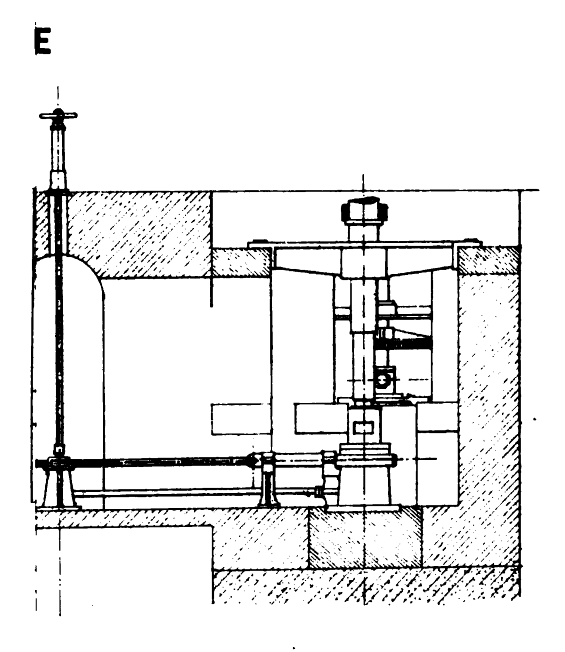
Fig. 1. Vue en élévation du four suivant son grand axe (*la Cheminée est coupée*). Fig. 2. Section verticale passant par le grand axe. Fig. 3. Plan et coupe à 0 50 au-dessus du siège.

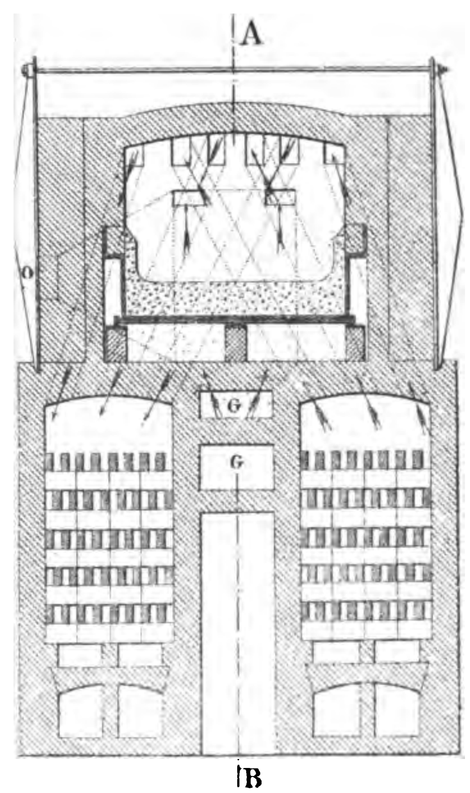
a grille. **b** carneaux à air froid **c** carneaux à air froid. **d** trous à air chaud, débouchant sur le foyer **e** niveau supérieur du siège du four **f** pot de fusion. **g** ouvreau à réchauffer les pièces **h** piliers **j** entrée des cheminées **k** arcades pour l'introduction des creusets **l** couronne **m** sorties des cheminées **n** moufles à réchauffer les verres de couleur **o** cheminée d'appel **p** régistre de cette cheminée **q** introduction du combustible. **r** massifs supportant le four. **s** accès de l'air à la grille **t** tonnelles **u** regards **v** orifices pour le nettoyage des cheminées.

Imp. Monrocq Paris

Pl. XVIII ter.

E



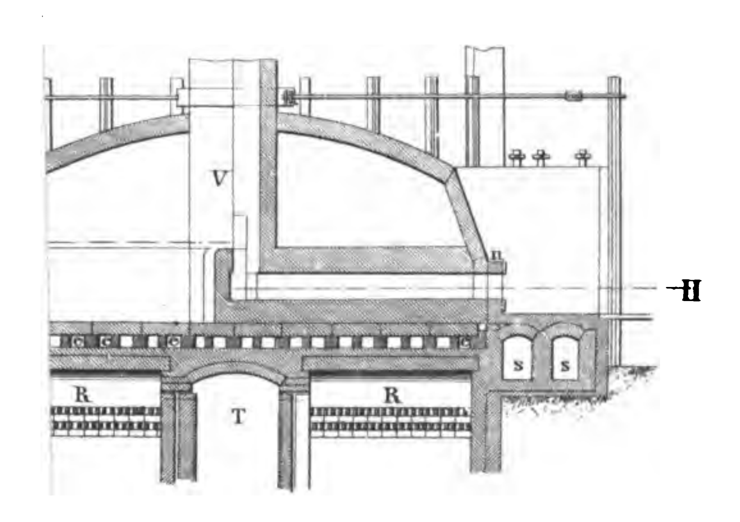

A
O
G
G
B

Pl. XXI.

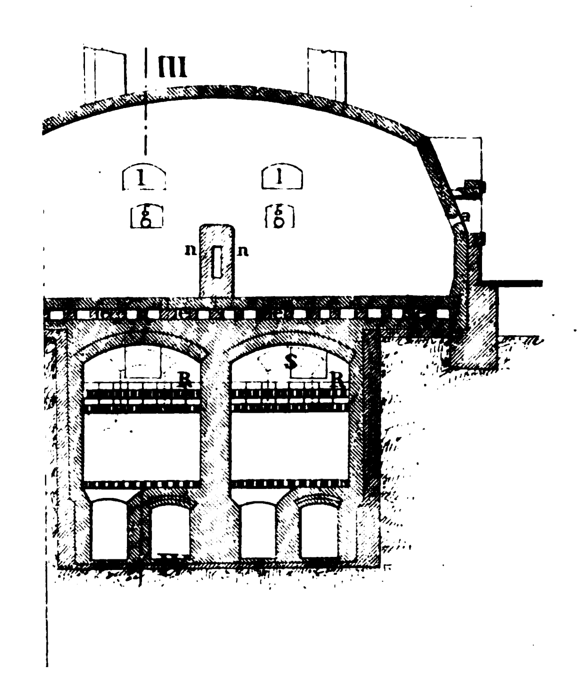
...UVREAUX

...uleurs différentes .

Coupe III, IV .



Coupe V, VI .



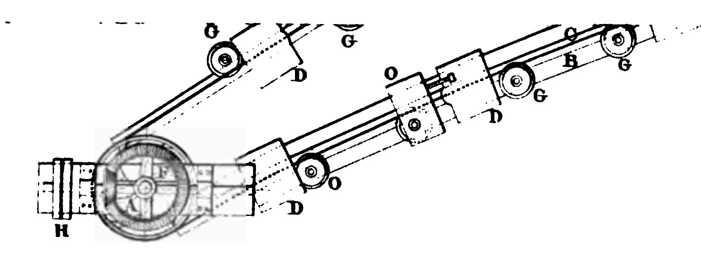
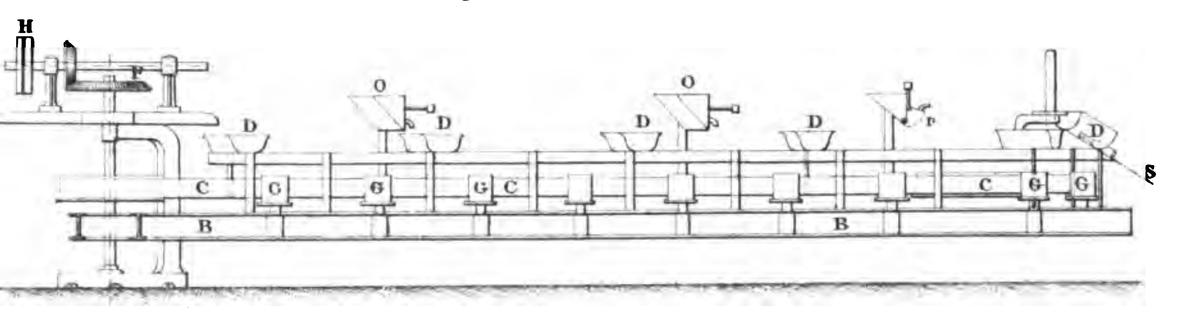


Fig. 3. Vue de côté.

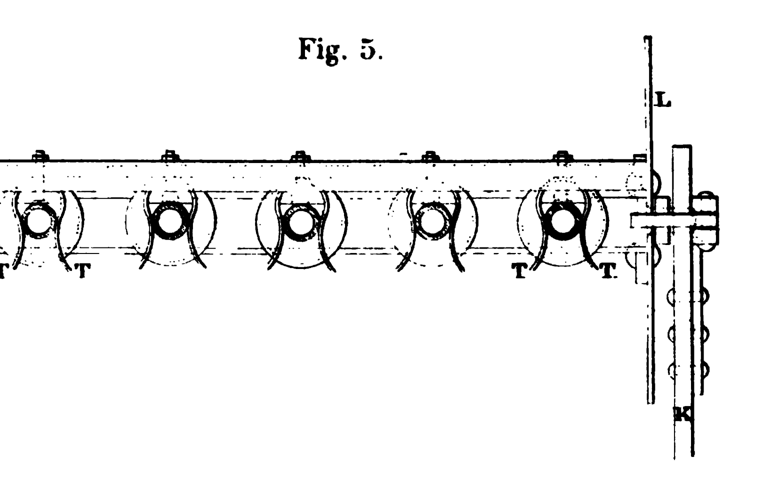


Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

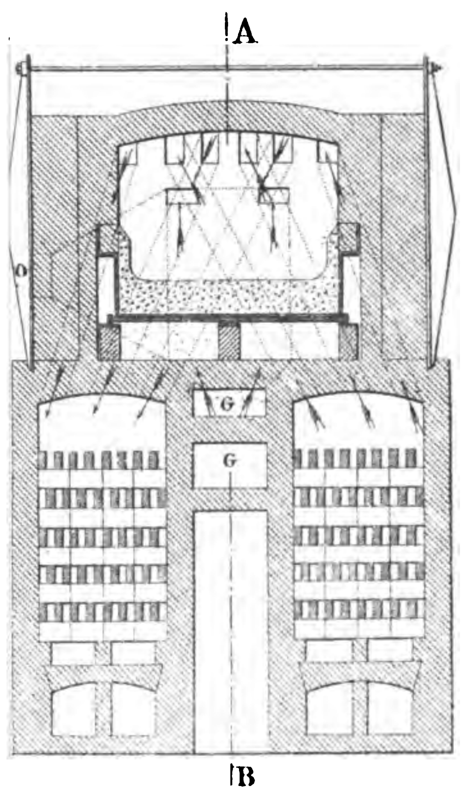


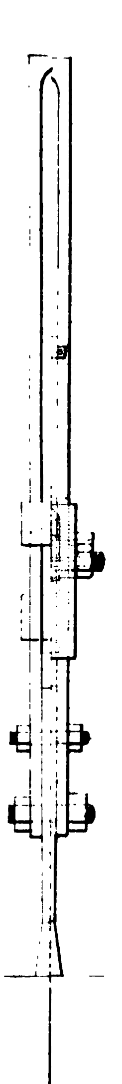
CLASSEMENT DES BOUTEILLES SUIVANT LEUR CAPACITE

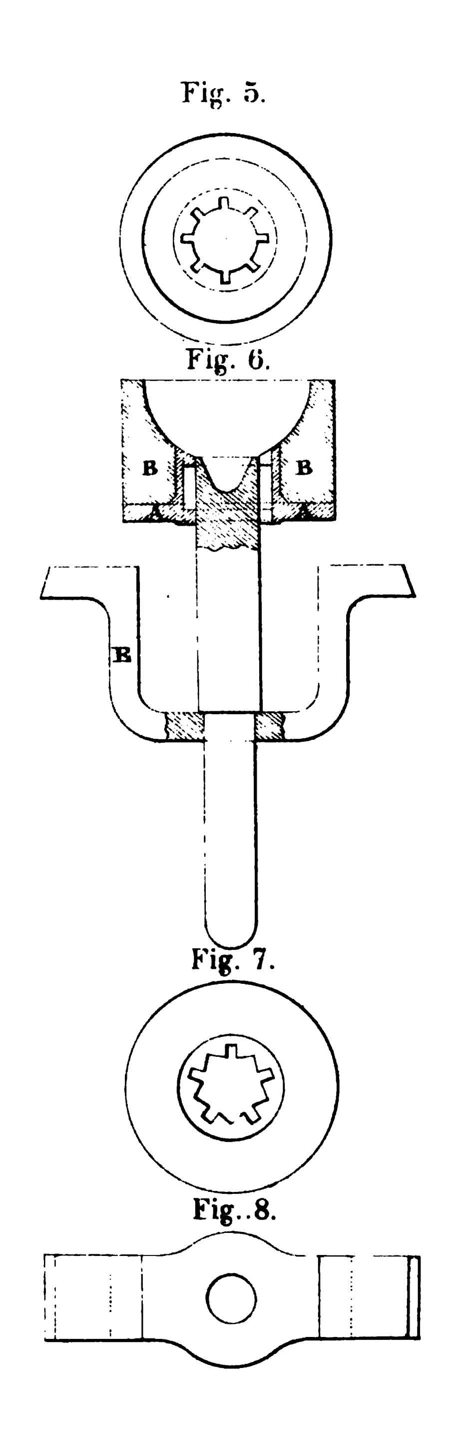
Fig. 5.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris


A
O
G
G
B





Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

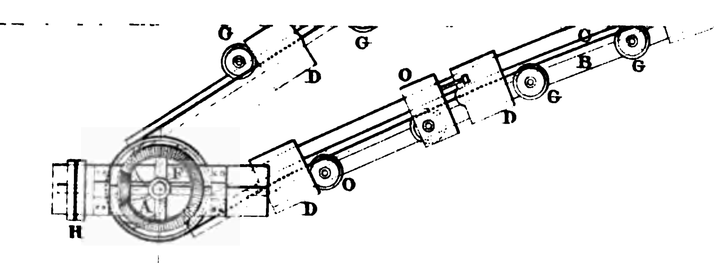
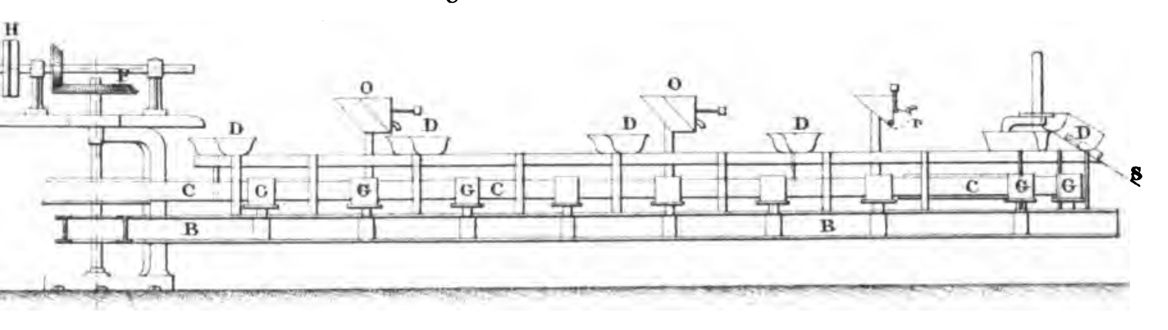


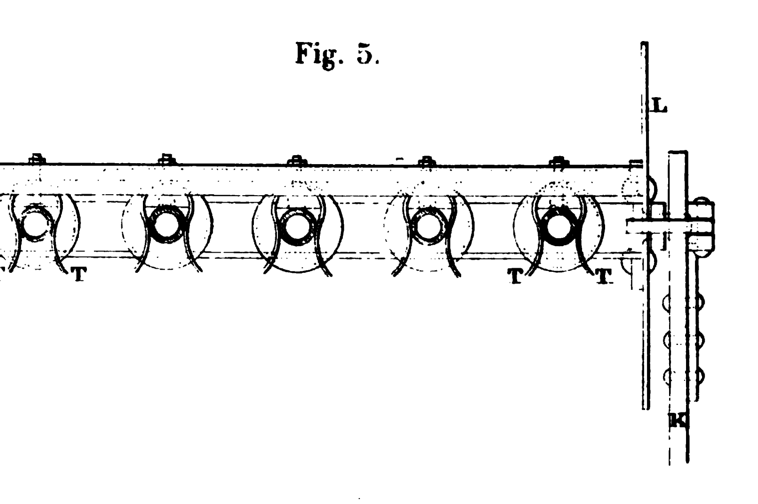
Fig. 3. Vue de côté.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

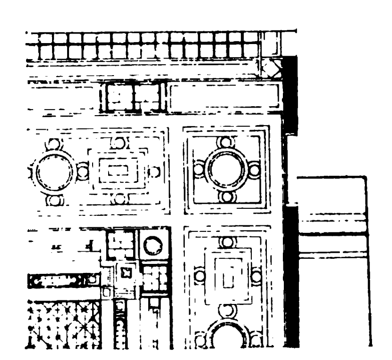
CLASSEMENT DES BOUTEILLES SUIVANT LEUR CAPACITE

Fig. 5.



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

Pl.XXX



figures 0,0, stabilisations v

0 1 2,3,4,5,6 7 vues en lumièr

side Fig. 7. Fel

Fig. 9. Diopside et Wollastonite.

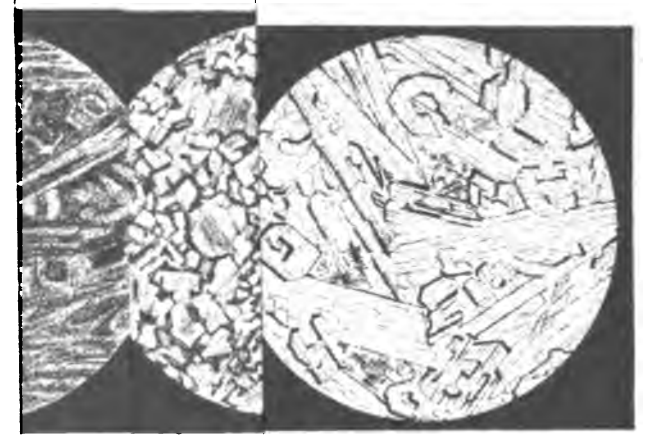
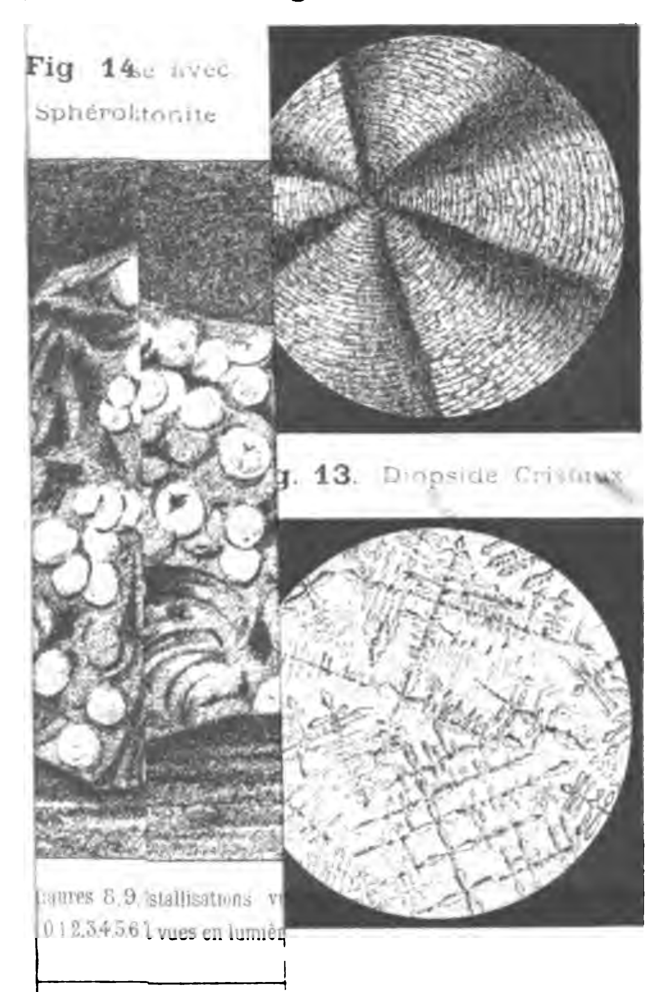


Fig. 11. Humboldtilithe

Fig 14 se avec Sphérolitonite



g. 13. Diopside Cristaux

Figures 8, 9, istallisations v

10, 1, 2, 3, 4, 5, 6 1 vues en lumiè

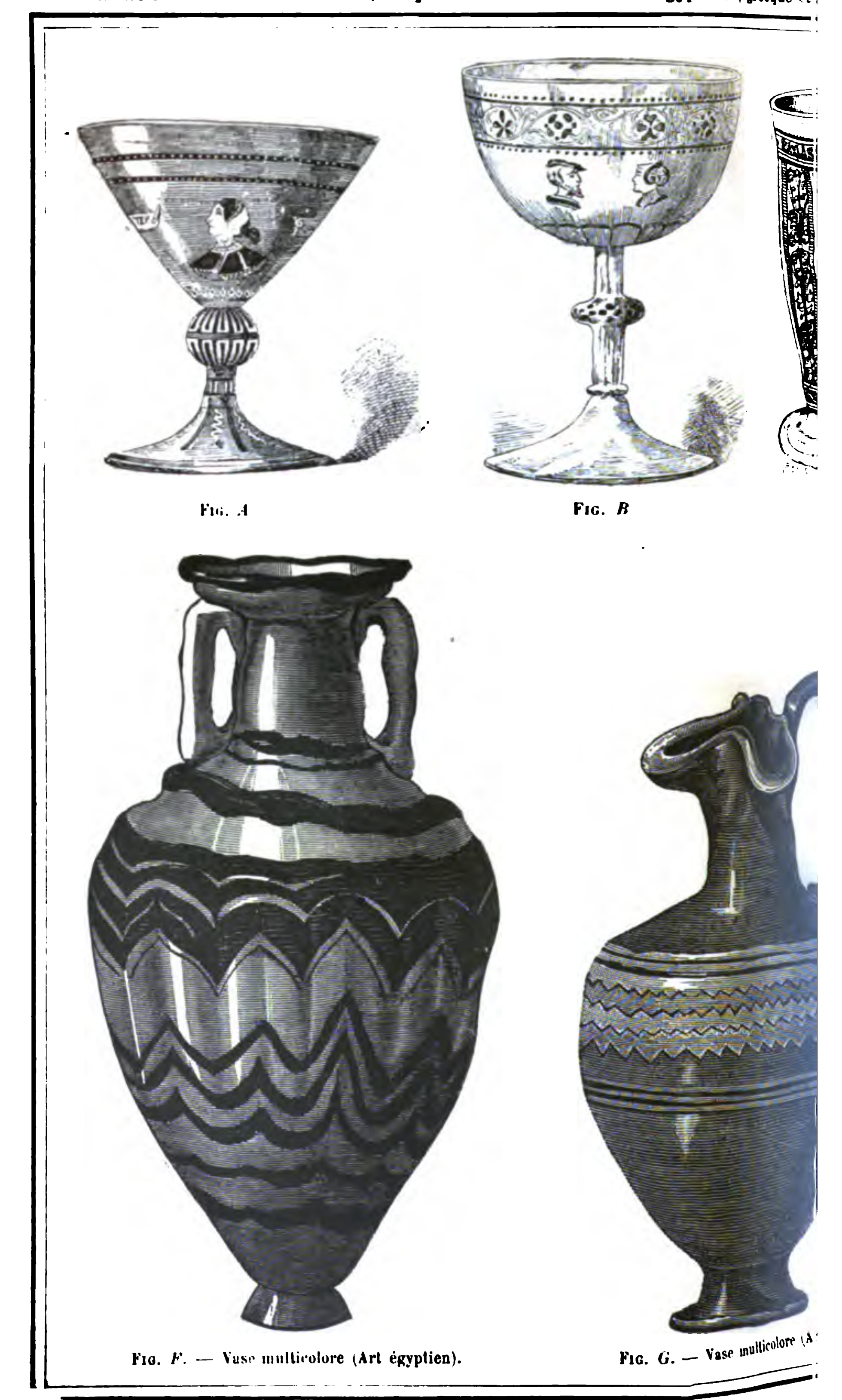
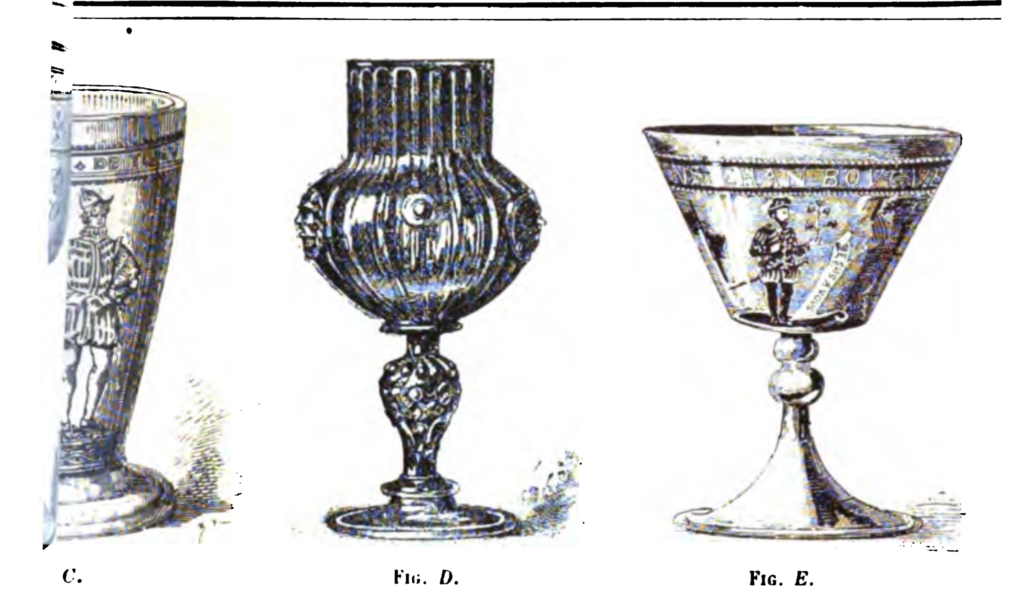


Fig. A

Fig. B

Fig. F. — Vase multicolore (Art égyptien).

Fig. G. — Vase multicolore (A



C. Fig. D. Fig. E.



…ec).

Fig. H. — Vase orné de bas-reliefs (Art romain).






Chem 7558.97
Le verre et le cristal;
Cabot Science
003431584
3 2044 091 952 697